

**VŠB - Technická univerzita Ostrava**

**Fakulta strojní**

**Katedra mechanické technologie**

# **NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY VÝLISKU Z PLECHU**

## **TECHNOLOGY DESIGN OF SHEET METAL PRESSING**

Student:

Bc. Jiřina Pešková

Vedoucí diplomové práce:

prof. Ing. Jiří Hrubý, CSc.

**Ostrava 2009**

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Katedra mechanické technologie

Fakulta strojní  
Akademický rok 2008/2009

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jiřina Pešková**  
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie  
Téma: **Návrh technologie výroby výlisku z plechu**  
**Technology Design of Sheet Metal Pressing**

Zásady pro vypracování:

1. Rozbor stávajících technologií výroby výlisků z plechu
2. Návrh technologie lisování laserem děleného polotovaru z plechu
3. Návrh technologie lisování v postupovém nástroji z pásu plechu
4. Analýza výrobních parametrů navržených variant
5. Technicko-ekonomické hodnocení variant

Seznam doporučené odborné literatury:

BAREŠ aj. *Lisování*. Praha: SNTL, 1971, 544 s.  
*Qform. Uživatelská příručka*. Moskva: Quantor Ltd., 2000.  
KOTOUC, J. *Nástroje pro tváření za studena*. Praha: ČVUT, 1978, 158 s.  
HRUBÝ, J. – PETRUŽELKA, J. *Výpočetní metody ve tváření*. 1.vyd. Ostrava, VŠB – Technická univerzita 2002. 173 s.  
MIELNIK, E.M. *Metalworking Science and Engineering*. New York: McGraw-Hill, 1991

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Jiří Hrubý, CSc.**

Datum zadání: 29.09.2008

Datum odevzdání: 22.05.2009



  
prof. Ing. Jiří Hrubý, CSc.

  
prof. Ing. Radim Farana, CSc.

**Prohlášení studenta**

**Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedla jsem všechny podklady a literaturu.**

V OSTRAVĚ 22.5.2009



podpis studenta

Prohlašuji, že

jsem byla seznámena s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb.-autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo,

beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít ( §35 odst.3 ),

souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO,

bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst.4 autorského zákona,

bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnutou licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Ostravě : 22.5.2009



Bc. Jiřina Pešková

Potoční 10

787 01 Šumperk

**ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE**

Pešková, J. Návrh technologie výroby výlisku z plechu. Ostrava katedra mechanické technologie, Fakulta strojní VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2009, 45 s. Diplomová práce, vedoucí prof. Ing. Jiří Hrubý, CSc.

Úkolem zpracované diplomové práce je vytvořit návrh technologie výroby výlisku z plechu. V úvodu se zabývá rozбором technologií výroby výlisků z plechu. Následují dvě varianty návrhu technologie lisování. První varianta se zabývá technologií dlešení polotovaru z plechu laserem a následným ohybem v ohýbacím nástroji. Návrh druhé varianty spočívá v technologii lisování v postupovém nástroji z pásu plechu. Navržené technologie jsou zhodnoceny na základě výstupů z programu QFORM a dále následuje technicko – ekonomické zhodnocení jednotlivých variant návrhu technologie lisování.

Diplomová práce bude sloužit jako podklad pro volbu varianty technologie výroby výlisku z plechu.

**ANNOTATION OF THESIS**

Pešková, J. Technology Design of Sheet Metal Pressing. University of Ostrava: Department of Mechanical Technology, VŠB – Technical University of Ostrava, 2009, 45 p. Advisor: prof. Eng. Jiří Hrubý, CSc.

This thesis deals with a proposal for sheet metal stamping technology. The introduction part of the thesis analyzes the existing technology of sheet metal stamping. Two versions of this technology proposal are presented. The first version deals with the technology of laser cutting of materials followed by bending using appropriate bending machines. The second version analyzes stamping technology of a sheet metal strip with the help of progressive machines. The proposed technology is evaluated on the basis of QFORM software outputs followed by technical and economic analyses of each stamping technology.

The thesis will serve as a basic document for the selection of technologic variants for sheet metal pressing.

# OBSAH

<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZNAČEK .....</b>	<b>8</b>
<b>1. ÚVOD .....</b>	<b>9</b>
<b>2. ROZBOR STÁVAJÍCÍCH TECHNOLOGIÍ VÝROBY VÝLISKŮ Z PLECHU .....</b>	<b>10</b>
<b>2.1 Technologie lisování .....</b>	<b>10</b>
<b>2.2 Stříhání .....</b>	<b>11</b>
2.2.1 Průběh stříhání .....	11
2.2.2 Střížný odpor .....	12
2.2.3 Střížná vlna .....	13
2.2.4 Střížné nástroje (stříhadla) .....	13
2.2.5 Přesnost a jakost povrchu po stříhání .....	15
<b>2.3 Ohyb .....</b>	<b>15</b>
2.3.1 Průběh ohýbání .....	16
2.3.2 Odpružení po ohýbání .....	16
2.3.3 Stanovení výchozího polotovaru .....	17
2.3.4 Přesnost po ohýbání .....	17
2.3.5 Ohýbací nástroj .....	17
<b>3. NÁVRH TECHNOLOGIE LISOVÁNÍ LASEREM DĚLENÉHO POLOTOVARU Z PLECHU .....</b>	<b>18</b>
<b>3.1 Požadavky a podklady dodané zákazníkem .....</b>	<b>18</b>
<b>3.2 Vyřezání vlastního tvaru a otvorů laserem .....</b>	<b>21</b>
<b>3.3 Ohyb v ohýbacím nástroji .....</b>	<b>21</b>
<b>3.4 Návrh ohýbacího nástroje .....</b>	<b>22</b>
<b>4. NÁVRH TECHNOLOGIE LISOVÁNÍ V POSTUPOVÉM NÁSTROJI Z PÁSU PLECHU .....</b>	<b>23</b>
<b>4.1 Požadavky a podklady dodané zákazníkem .....</b>	<b>23</b>
<b>4.2 Postupový nástroj – nástřihový plán .....</b>	<b>24</b>
<b>4.3 Návrh postupového nástroje .....</b>	<b>24</b>
<b>5. ANALÝZA VÝROBNÍCH PARAMETRŮ NAVRŽENÝCH VARIANT .....</b>	<b>26</b>
<b>5.1 Efektivní deformace .....</b>	<b>26</b>

<b>5.2</b>	<b>Zpevnění .....</b>	<b>29</b>
<b>5.3</b>	<b>Napětí .....</b>	<b>32</b>
<b>5.4</b>	<b>Průběh síly .....</b>	<b>36</b>
<b>6.</b>	<b>ZÁVĚR – TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ VARIANT .....</b>	<b>39</b>
<b>6.1</b>	<b>Technické zhodnocení variant .....</b>	<b>39</b>
6.1.1	1. varianta – vyžezání polotovaru laserem a ohyb v ohýbacím nástroji .....	39
6.1.2	2. varianta – postupový nástroj .....	39
<b>6.2</b>	<b>Zhodnocení výsledků výpočtového programu QFORM 3D .....</b>	<b>40</b>
<b>6.3</b>	<b>Ekonomické zhodnocení variant .....</b>	<b>41</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>43</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>44</b>

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZNAČEK**

$R_m$	mez pevnosti v tahu	(MPa)
$R_e$	mez kluzu	(MPa)
$A$	tažnost	(%)
$\sigma_m$	mez pružnosti	(MPa)
$\sigma_k$	mez kluzu	(MPa)
$F_{L(LEN\ 25C)}$	tváecí síla lisu	(kN)
$F_{L(LEN\ 63C)}$	tváecí síla lisu	(kN)
$F_i$	tváecí síla	(kN)
$l$	délka stihu	(mm)
$t$	tloušť ka stihu	(mm)
$F_1 \div F_7$	tváecí síla v jednotlivých krocích	(kN)
$F_C$	celková tváecí síla	(kN)



## 1. ÚVOD

V této diplomové práci se zabývám návrhem technologie výroby výlisku z plechu (SN EN 11321). Dle zadaných požadavků navrhuji dvě varianty lisování. První varianta spočívá ve vyztužení tvaru a otvorů laserem a ohnutí výlisku do konečného tvaru v ohýbacím nástroji na lisovacím stroji LEN 25. Ve druhé variantě jsem navrhla technologii lisování v postupovém nástroji z pásu plechu na zadaném lisovacím stroji (LEN 63C).

Pomocí výpočtového programu QFORM provádím analýzu deformací, napětí, zpevnění a průběhu sil, zjišťuji kritická místa výlisku a na základě těchto podkladů navrhuji technologii lisování a nástroje s cílem dosáhnout rovnoměrného rozložení deformací a úrovně zpevnění. Na základě výstupů z programu QFORM snižuji možnost poruch při výrobě výlisku v navržených nástrojích.

Dle zadaných parametrů a výpočtů hodnotím obě navržené varianty z hlediska technického i ekonomického.

### Úkol a cíl diplomové práce

Úkolem této diplomové práce je, dle 3D-modelu výlisku a požadovaného zadání, vytvořit dva návrhy technologie výroby výlisku z plechu a zhodnotit obě varianty z hlediska technického a ekonomického.

## 2. ROZBOR STÁVAJÍCÍCH TECHNOLOGIÍ VÝROBY VÝLISK Z PLECHU

### 2.1 Technologie lisování [3]

Je technologický (výrobní) proces, při kterém dochází k požadované změně tvaru výrobku nebo polotovaru, v důsledku působení vnějších sil. Je to možnost, zhotovit určitou součást při nejnižších výrobních nákladech a při nejkratší výrobní době.

**Správnou technologii lisování volíme podle mnoha okolností:**

- tvaru výlisku – na jednoduché, méně přesné součásti volíme jednoduchý nástroj
- tloušťky a druhu materiálu – čím je materiál silnější, musí být dokonalejší upínání a mohutnější nástroj
- potu vyráběných součástí – volíme nástroje jednoduché, postupové, sdružené atd.
- lisovací stroji (lisu) a způsobu zakládání materiálu, který bude pro vlastní výrobu použit – konstrukce a velikost nástroje
- požadovaných přesností výlisku – závisí na ní přesnost, provedení a počet nástroj
- výrobního zařízení firmy a dovedností jeho pracovníků
- požadované dodací lhůty

**Použitím správné technologie lisování můžeme:**

- zkrátit výrobní čas
- snížit výrobní náklady
- zvýšit jakost výlisku
- snížit pracnost
- odstranit rozporodé technologie a nahradit je jedinou
- zvýšit produktivitu práce
- snížit rozsah pomocných operací (doprava)
- zlepšit využití výrobního zařízení

Hlavním kritériem při hodnocení technologie lisování je zvyšování produktivity práce při snižování vlastních nákladů.

## 2.2 Střihání [1], [4], [5], [6]

Je postupné nebo současně oddělování částí materiálu stříhadly podél křivky stříhu. Křivku stříhu tvoří obvod výstřihu, střížníku i střížnice. Střihání je jednou z nejpoužívanějších tvářecích operací, která směřuje k žádoucímu porušení materiálu. Touto technologií vyrábíme součásti k přímému použití nebo polotovary, které se dále zpracovávají. Základními operacemi jsou drolování, ostřihování, vystřihování případně nastřihování.

### 2.2.1 Příběh stříhání

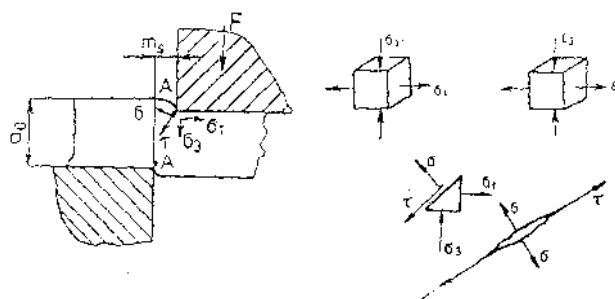
Střihání začíná dosednutím střížníku na stříhaný plech Obr. 2a a dále lze jeho příběh rozdělit do tří základních fází.

V první fázi dochází k pružné deformaci stříhaného materiálu Obr. 2b, kdy se materiál stlačuje a ohýbá a vtlačuje se do otvoru střížnice do hloubky závislé zejména na mechanických vlastnostech materiálu a bývá 58% jeho tloušťky. Napětí v tvářeném materiálu je menší než mez pružnosti  $\sigma_m$ . Stříhaný plech je namáhán silou působící v ploše mezi obvodem střížníku a střížnice. V důsledku toho dochází v rovinách kolmých ke střížným plochám k vzniku silových dvojic Obr. 2b, které stříhaný materiál ohýbají, ten se zaobluje na straně střížníku, kde probíhá tzv. vtlačení a na straně střížnice, kde probíhá tzv. vytlačení.

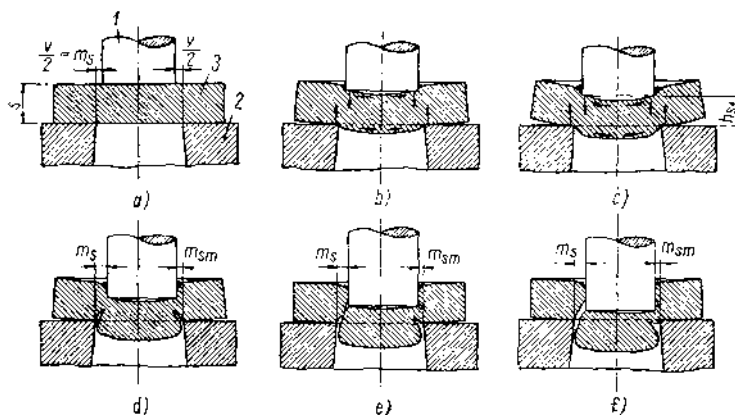
Ve druhé fázi dochází k plastickým deformacím. Střížník se vtlačuje do plechu a ten do otvoru střížnice až napětí překročí mez kluzu  $\sigma_k$  a na hranách střížníku a střížnice se blíží mezi pevnosti. Hloubka vniku střížníku do stříhaného materiálu během trvalé deformace je závislá na jeho mechanických vlastnostech a bývá 10 – 25 % tloušťky plechu.

Ve třetí fázi vzniká nejprve nástih, na hranách střížnice a střížníku začínají vznikat trhlinky, které se rychle prodlužují, až dojde k oddělení výstřihu od výchozího materiálu. Rychlost vzniku a postupu trhlinek je závislá na mechanických vlastnostech stříhaného materiálu a na velikosti střížné vlny mezi střížníkem a střížnicí. Při normální vlně se nástihy od střížnice a střížníku setkávají a vytvoří ve stříhaném přezu jednu plochu bez otěpu. Pokud je vlna velká nástihy se neseťkají a vytvoří se nerovný povrch v ploše stříhu. Okraje střížných ploch nejsou zcela rovné a střížná plocha má určitou drsnost, která není rovnoměrně rozdělena. Místa, kde došlo k prvnímu výskytu trhlín, jsou drsnější než ostatní střížné plochy. Hloubka vniku střížníku do stříhaného materiálu v okamžiku jeho úplného

oddělení bývá 10-60% jeho tloušťky, podle druhu stíhaného materiálu a nástroje.



Obr. 1- Napjatost a deformace při stíhání



Obr. 2 - Průběh stíhání

### 2.2.2 Stíhací odpor

Stíhací odpor závisí na:

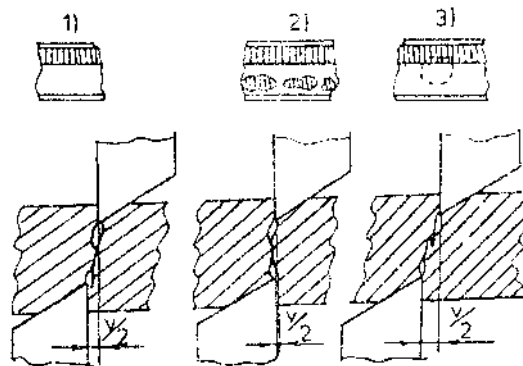
- vlastnostech stíhaného materiálu - s rostoucí pevností materiálu a s klesající tvárností stíhací odpor roste
- tením stíhaného materiálu - při malých vlnkách značně vzrůstají účinné síly a při zvětšování vlnky se účinné síly značně zmenšují
- tloušťkou stíhaného materiálu - s rostoucí tloušťkou se stíhací odpor zmenšuje. Tlustší materiály vykazují větší tvárnost a relativně menší zpevnění. Tenčí materiály jsou více citlivé na působení stíhacích hran.
- tvary a rozměry křivky stíhu - s rostoucími rozměry výstřžku se stíhací odpor zmenšuje. Tvar ovlivňuje rovnoměrné i nerovnoměrné rozložení stíhacího odporu a smykového napětí.
- velikosti stíhací vlnky - nejmenší stíhací odpor dostaneme při optimální stíhací vlnce pro každý materiál a jeho tloušťku.

- f) konstrukci nástroje
- g) podmínkách stříhání – rychlost, mazání, stav střížných hran nástroje atd.

### 2.2.3 Střížná vlna

Střížná vlna je rozdíl mezi rozměrem pracovní části střížníku a střížnice, tj. součet mezer po obou stranách mezi střížníkem a střížnicí.

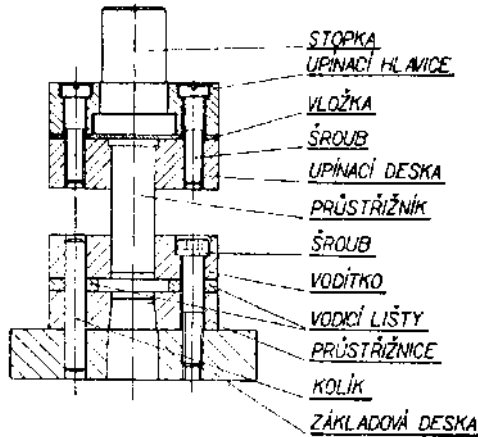
Velikost střížné vlny je závislá na druhu (čím je materiál měkčí, tím menší je střížná vlna) a tloušťce (se zvětšující tloušťkou se zvětšuje střížná vlna) stříhaného materiálu a ovlivňuje zejména trvanlivost nástroje (stříhadla), velikost střížné síly a jakost střížné plochy. Optimální velikost střížné vlny je taková, při které se dosáhne kvalitní střížné plochy při nejmenší střížné síle. Obr. 3.



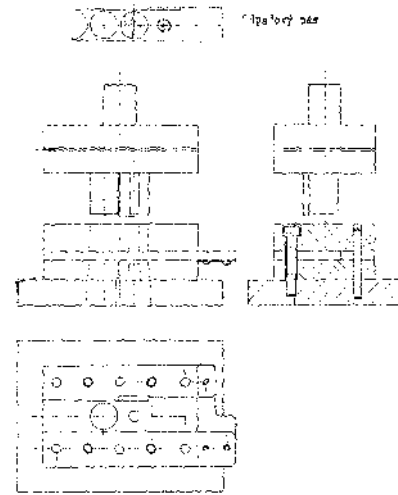
Obr. 3 - Střížná vlna: 1-optimální, 2-malá, 3-velká

### 2.2.4 Střížné nástroje (stříhadla)

Stříhadlo se skládá ze dvou hlavních částí. Část pohyblivá (střížník), je upnuta pomocí stopky nebo upínek do beranu lisu a část pevná (střížnice) upnutá ve vřetěch případně upínkami na stole lisu.



Obr. 4 - Jednoduché prost íhavadlo s vodítkem



Obr. 5 - Postupové prost íhavadlo

Rozd lení st íhacích nástroj podle funkce:

- a) Jednoduché - jednoduchým nástrojem je vykonávána jen jedna operace na jednom výlisku na jeden zdvih. Takovýto nástroj se používá pro lisování součástí velkých tloušť k Obr. 4.

Postupové – lisují výrobky na n kolik zdvih lisu postupn n kolika razníky, které konají jednotlivé operace odd len za neustálého posouvání polotovaru mezi razníky, kdy po každém zdvihu lisu vychází hotový výrobek Obr. 5.

Výhody: vysoká výkonnost a mechanizace podávání a odstra ování polotovaru  
použití na rychlob žných lisech a lisovacích automatech  
spolehlivost v provozu a bezpe nost  
pro výrobky jednodušších tvar nižší výrobní náklady  
jednoduchost provozu a vyšší životnost

Nevýhody: menší p esnost (nep esné podávání a p ichycení polotovaru)  
horší jakost (ot epy sm ůjící na r zné strany)

Použití: v hromadné výrob pro výlisky menších a st edních rozm r r zných tloušť k (ca. do 6mm)

- b) Slou ené (sdružené) - výrobek je lisován na jeden zdvih lisu, pot ebné operace probíhají sou asn a p i nezmn né poloze polotovaru. Je vykonávána prost íhovací i d rovací operace zároveň .

Výhody: lepší p esnost (nevznikají odchylky p i podávání)  
lepší jakost (rovné výlisky s malými ot epy jen na jedné stran )

Nevýhody: pomalý postup práce (odebírání výlisek )

použití jen p i nižších rychlostech

nebezpečné p i zakládání a odebírání výlisek

vyšší výrobní náklady u výlisek jednodušších tvar

Použití: výrobky velkých a středních rozměrů, menších tloušťek (0,05 – 3,0 mm)

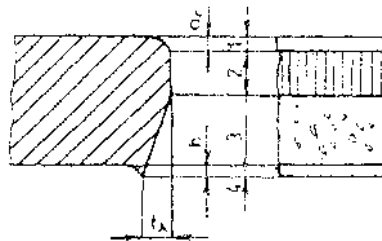
### 2.2.5 Přesnost a jakost povrchu p i stříhání

Přesnost součástí vyrobených stříháním závisí na přesnosti zhotovení střížníku a střížnice, konstrukci nástroje a způsobu zajištění polohy materiálu (součástí) p i stříhání, druhu, stavu a mechanických vlastnostech stříhaného materiálu, kvalitě a geometrii střížných hran, na velikosti rovnoměrnosti střížné vlny a tloušťce stříhaného materiálu. Přesnost lze zvýšit p i použitím p i držova nebo vodících stojánek

Jakost střížné plochy závisí na konstrukci a stavu stříhadel, střížné vlny, materiálu a rychlosti stříhání. Jakost střížné plochy můžeme zvýšit zvýšením rychlosti stříhání

Střížná plocha má čtyři charakteristická pásma Obr. 6:

- 1 – zaoblení
- 2 – plastický stříh
- 3 – porušení materiálu smykovým napětím
- 4 – otláčení



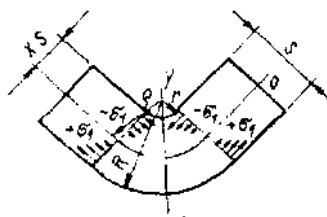
Obr. 6 - Pásma střížné plochy

### 2.3 Ohyb [1], [3]

Ohýbání je trvalé deformování materiálu, p i n můžeme materiál vzniklým napětím bu ohýbat, nebo rovnat. Ohýbání je proces, kterým dosahujeme požadované změny tvaru bez podstatné změny průřezu, proto patří do oblasti tváření plošného.

### 2.3.1 Průběh ohýbání

Ohnutí součástí do požadovaného tvaru využívá zákon plasticity, kdy překročením meze kluzu dosáhneme oblasti plastické deformace. Plastická deformace je doprovázena deformací elastickou. Při ohýbání Obr. 7 se vrstvy kovu na vnitřní straně ohýbaného materiálu stlačují  $-\sigma_1$  a na vnější straně natahují  $+\sigma_1$ , proto je velmi důležité, aby hrana ležela napříč vlákny ohýbaného materiálu. Mezi stlačovanými a natahovanými vrstvami je neutrální vrstva 0, která se ani nenatahuje ani nestlačuje.



Obr. 7 - Schéma napětí a deformací při ohýbání

Poloha neutrální vrstvy je důležitá pro stanovení rozměrů výchozího materiálu pro ohýbání a pro stanovení minimálních rozměrů zaoblení. Minimální přípustný poloměr zaoblení musí odpovídat tvárnosti materiálu, aby nedošlo k vzniku trhlin. To znamená, že dovolené napětí ve vnějších vláknech omezuje jejich deformace.

### 2.3.2 Odpružení při ohýbání

Pominou-li vnější síly na deformovanou součást, rozměry součásti se vrátí do původního stavu, dochází k tzv. odpružení Obr. 8. Velikost odpružení je určena podle druhu, tloušťky a tvrdosti ohýbaného materiálu, podle zaoblení ohýbacích nástrojů a velikosti síly, která na ohyb působí (lis). Při ohnutí materiálu určitou silou dojde k odpružení o úhel  $\beta$ . Nástroj se tedy musí navrhnout s korekcí o úhel odpružení, nebo se musí zvětšit lisovací síla na konci lisovacího cyklu a dochází k tzv. kalibraci.



Obr. 8 - Odpružení při ohýbání



### 2.3.3 Stanovení výchozího polotovaru

Potřebná délka výchozího materiálu pro ohnutí se nedá přesně stanovit, jelikož závisí mimo jiné na vlastnostech materiálu a nástroje. Přibližnou délku obvykle stanovujeme následujícím postupem:

- určení poloměru ohybu neutrální vrstvy
- stanovení délek oblouků v ohybech
- součet jednotlivých částí ohýbané součásti

Teoreticky vypočtená délka se dále upravuje podle naměřených hodnot při zkouškách nástroje.

### 2.3.4 Přesnost při ohýbání

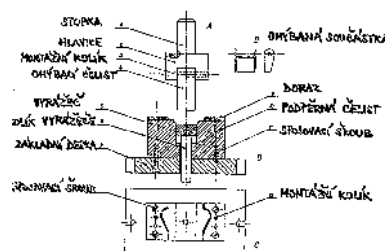
Přesnost při ohýbání závisí stejně jako u stříhání na mnoha faktorech:

- na tvaru a rozměru ohýbané součásti
- na stejnorodosti mechanických vlastností výchozího materiálu
- na nestejně tloušťce ohýbaného materiálu
- na počtu ohybů (zhotovení součásti najednou nebo v několika krocích)
- na druhu ohýbadla a jeho přesnosti
- na způsobu kalibrování po ohýbání
- na přesnosti ustavení ohýbadla na pracovním stroji

Jakost povrchu součásti při ohýbání závisí na jakosti povrchu výchozího materiálu, geometrii ohýbací elisty, velikosti mezery  $m_0$ , různé tloušťce výchozího materiálu, způsobu mazání a drsnosti povrchu ohýbadla.

### 2.3.5 Ohýbací nástroj

K ohýbání používáme nástroje ohýbadla (Obr. 9), skládajícího se z ohybníku (ohýbací razník) a ohybnice (ohýbací matrice).

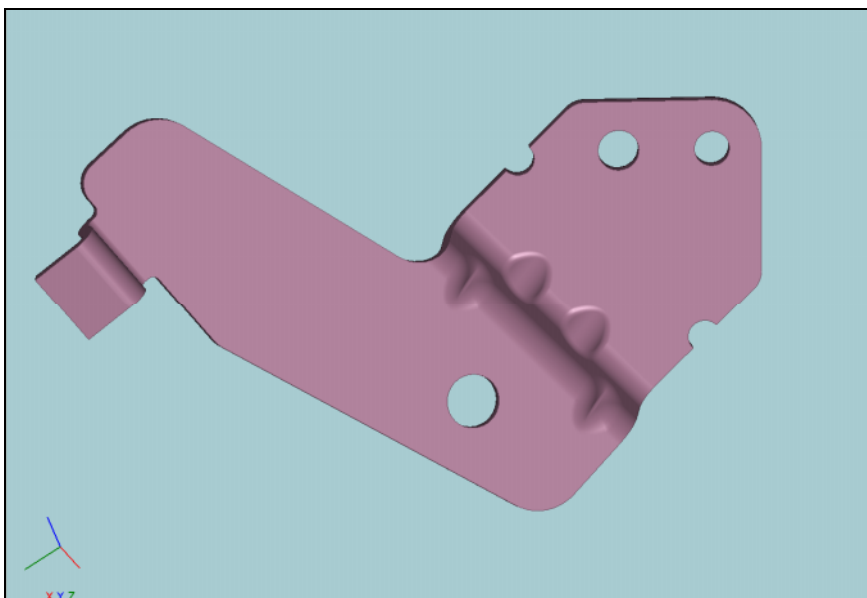


Obr. 9 - Ohýbadlo

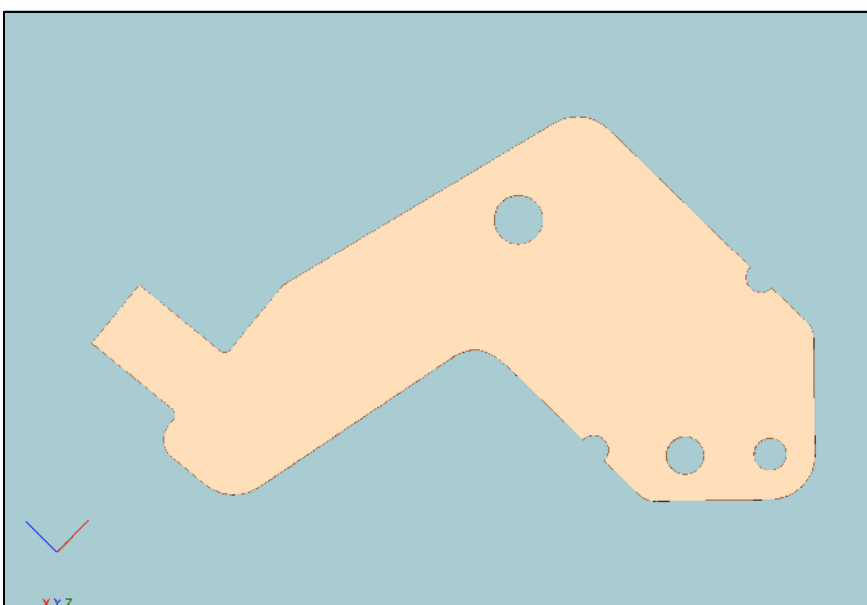
### 3. NÁVRH TECHNOLOGIE LISOVÁNÍ LASEREM D LENÉHO POLOTOVARU Z PLECHU

V případě malosériové výroby navrhuji, dle předaných požadavků a podkladů, variantu vyřezání vlastního tvaru a otvorů laserem a následné tvarování a ohýb ve dvou krocích ohýbacího nástroje.

#### 3.1 Požadavky a podklady dodané zákazníkem



Obr. 10 - 3D-model výlisku



Obr. 11 - 3D-model výlisku - rozvinutý tvar

**Materiál polotovaru SN EN 11321 [2]**

Nelegovaná jakostní ocel, vhodná pro tváření za studena, k nanášení povlak žárovým pokovováním, elektrolyticky a k nanášení organických a jiných povlak. Pro ploché výrobky z hlubokotažných ocelí, válcované za studena bez povlaku, plechy, široké pásy, podélně dle široké pásy, pruhy z podélně dle širokých pás nebo plech. Vhodná ke svařování běžnými postupy.

<b>Druh oceli:</b>	<b>DC01 (FeP01)</b>
Materiálové číslo:	1.0330
SN:	11321
DIN:	St 12
Mez kluzu Re [MPa]:	max. 280
Mez pevnosti v tahu Rm [MPa]:	270 - 410
Tažnost při přetržení A <sub>80</sub> [%]:	28

**Chemické složení materiálu.**

Chemické Složení	C	Mn	P	S	Al	N	Ti
	max	max	max	max	min	max	max
%	0,12	0,60	0,045	0,045	-	-	-

Tab. 1 - Chemické složení materiálu

**Stroj na řezání laserem TruLaser 5030 classic**

Obr. 12 - Laser TruLaser 5030 classic

Ur eno k řezání tvarových výpalk , velmi přesné tvary, kvalitní řezné hrany, nejvyšší kvalita zpracování plechu. Technologie je vhodná pro výrobu složitých tvarových plochých výrobků . Možnost výroby velmi přesných dílů s ostrými hranami bez okují, oxid . Bez poškrábání povrchu materiálu. Není nutné další opracování výrobků . Programování v CAD/CAM zaručuje vysokou přesnost výroby a maximální využití plochy.

Typ Laseru:	TruLaser 5030 classic
Výkon laseru:	5000 Watt
pracovní rozsah:	1500 x 3000 mm
CNC řízení:	Sinumerik 810D
Rychlost v lineární ose:	300 m/min
max. tloušťka plechu:	konstrukční oceli až do 25 mm. nerezové oceli až do 20 mm . hliníkové slitiny až do 12 mm.

**Lisovací stroj LEN 25 C**

Obr. 13 - Lisovací stroj LEN 25C

Lisovací síla:	250 kN
Maximální vestavná výška:	250 mm
Zdvih beranu:	8-85 mm
Přestavení beranu:	55 mm
Vyložení:	225 mm
Plocha beranu (š x d):	220 x 355 mm
Plocha stolu (š x d):	450 x 560 mm
Podstata zdvih :	75/155min

**3.2 Vyřezání vlastního tvaru a otvorů laserem**

Z tabulí plech o rozměrech 1500 x 3000 x 1,6 mm bude podle jednoho programu vyřezán požadovaný počet polotovarů (ca. 700 ks/1tabule).

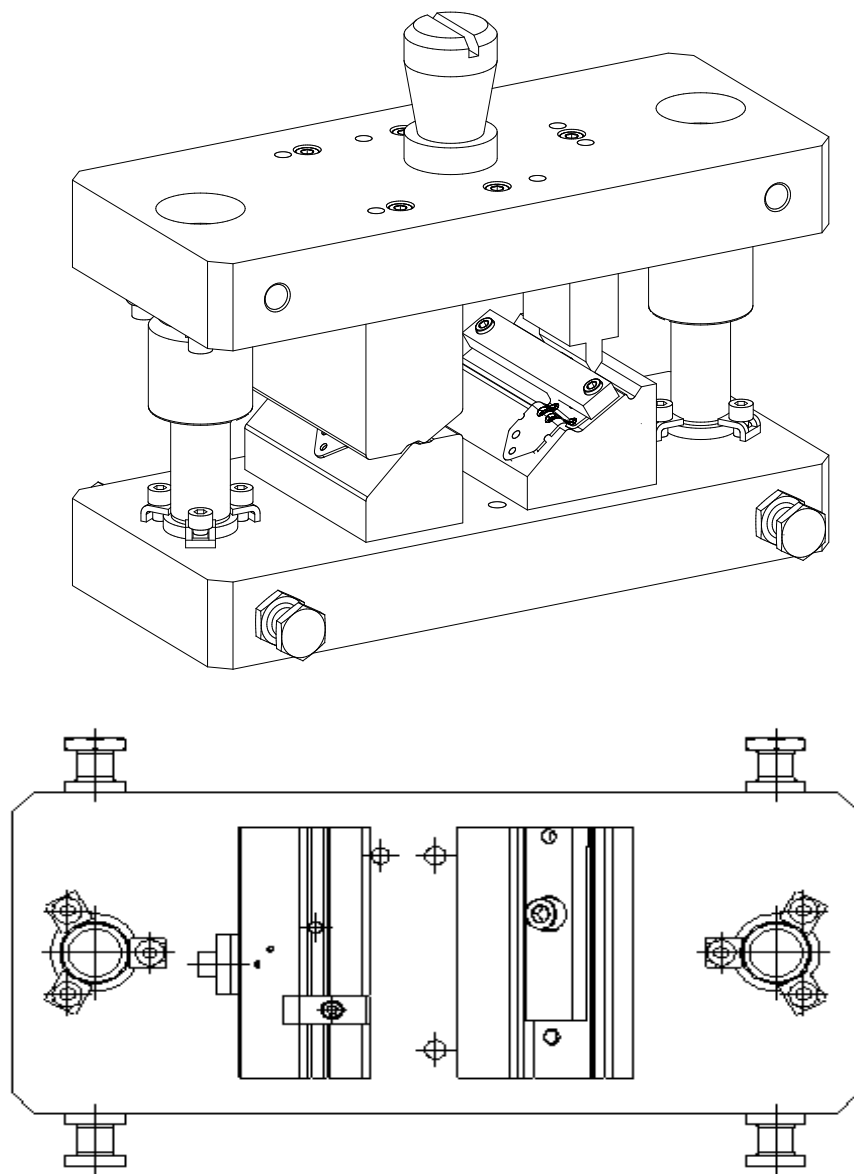
**3.3 Ohyb v ohýbacím nástroji**

Vzhledem ke složitosti ohýbaných částí výlisku a z důvodu dodržení rozměrů bude ohyb proveden ve dvou krocích v samostatném ohýbacím nástroji:

1. krok – ohyb + natvarování "trojúhelníkové hlavy" výlisku
2. krok – ohyb "konzolky"

Vybraný polotovar bude do ohýbacího nástroje zakládán manuálně. V prvním kroku bude uložen na tvárník a v přesné poloze zajištěn dorazy. Po provedení prvního kroku bude manuálně odebrán a založen na tvárník do druhého kroku, kdy však bude vzhledem k umístění ohybu na výlisku zajištěn pomocí podržovače, což nám zaručí přesné uložení a vyloučíme následné nežádoucí deformace.

### 3.4 Návrh ohýbacího nástroje



Obr. 14 – Ohýbací nástroj - návrh

## 4. NÁVRH TECHNOLOGIE LISOVÁNÍ V POSTUPOVÉM NÁSTROJI Z PÁSU PLECHU

Pro předpoklad velkosériové výroby navrhuji technologii výroby pomocí postupového nástroje. Dle předaného 3D-modelu součásti a podklad lisovacího stroje navrhuji postupový nástroj, do kterého bude pás plechu dopravován podavačem přes rovinu, s max. posuvem 74 mm a šířkou pásu 100 mm. Výlisek bude vylisován v sedmi krocích. Pro postupový nástroj je určen lis LEN 63C s podavačem.

### 4.1 Požadavky a podklady dodané zákazníkem

Podklady k výlisku a materiálu viz. 3.1.

#### Lisovací stroj LEN 63 C



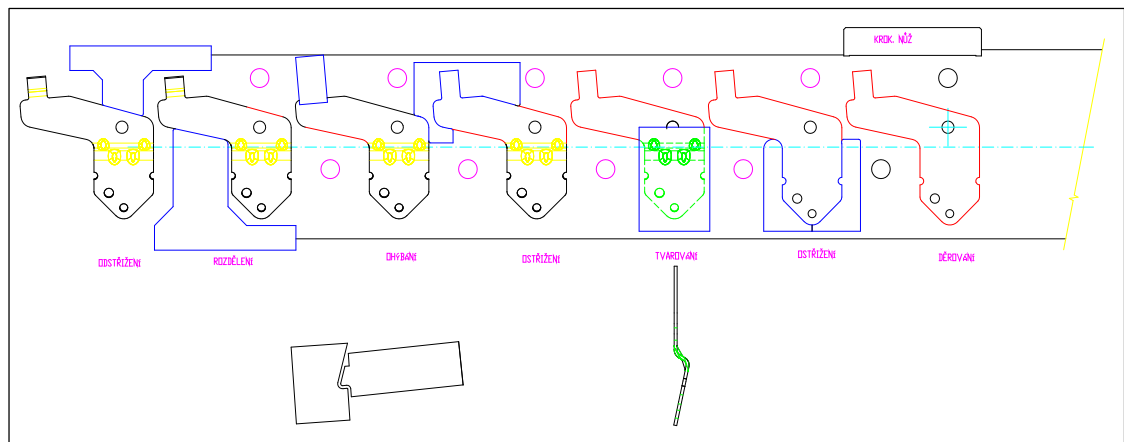
Obr. 15 - Lisovací stroj LEN 63C

Lisovací síla:	630 kN
Maximální vestavná výška:	355 mm
Zdvih beranu:	10-105 mm
Přestavení beranu:	70 mm
Vyložení:	315 mm
Plocha beranu (š x d):	450 x 280 mm
Plocha stolu (š x d):	800 x 630 mm
Podet zdvih :	65/130min

## 4.2 Postupový nástroj – nást ihový plán

Šířka pásu: 100 mm

Krok: 74 mm



Obr. 16 - Nást ihový plán postupového nástroje

1 krok – stih 1 x Ø6,5 mm + 1 x Ø5 mm + 1 x Ø4,3 mm + 2 x Ø10 mm (hledáky)

2 krok – stih části tvaru výlisku "trojúhelníková hlava"

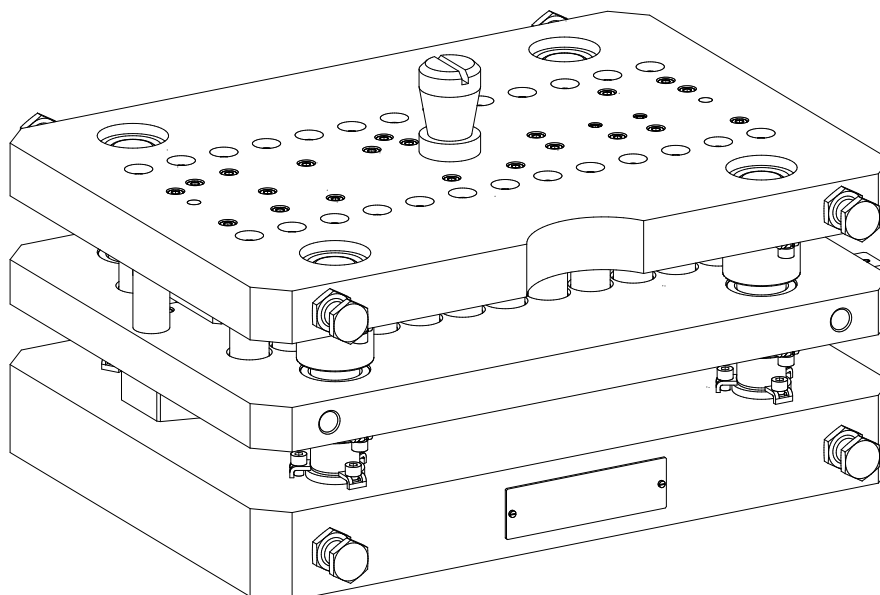
3 krok – tvarování části výlisku "trojúhelníková hlava"

4 krok – stih části tvaru výlisku "konzolka"

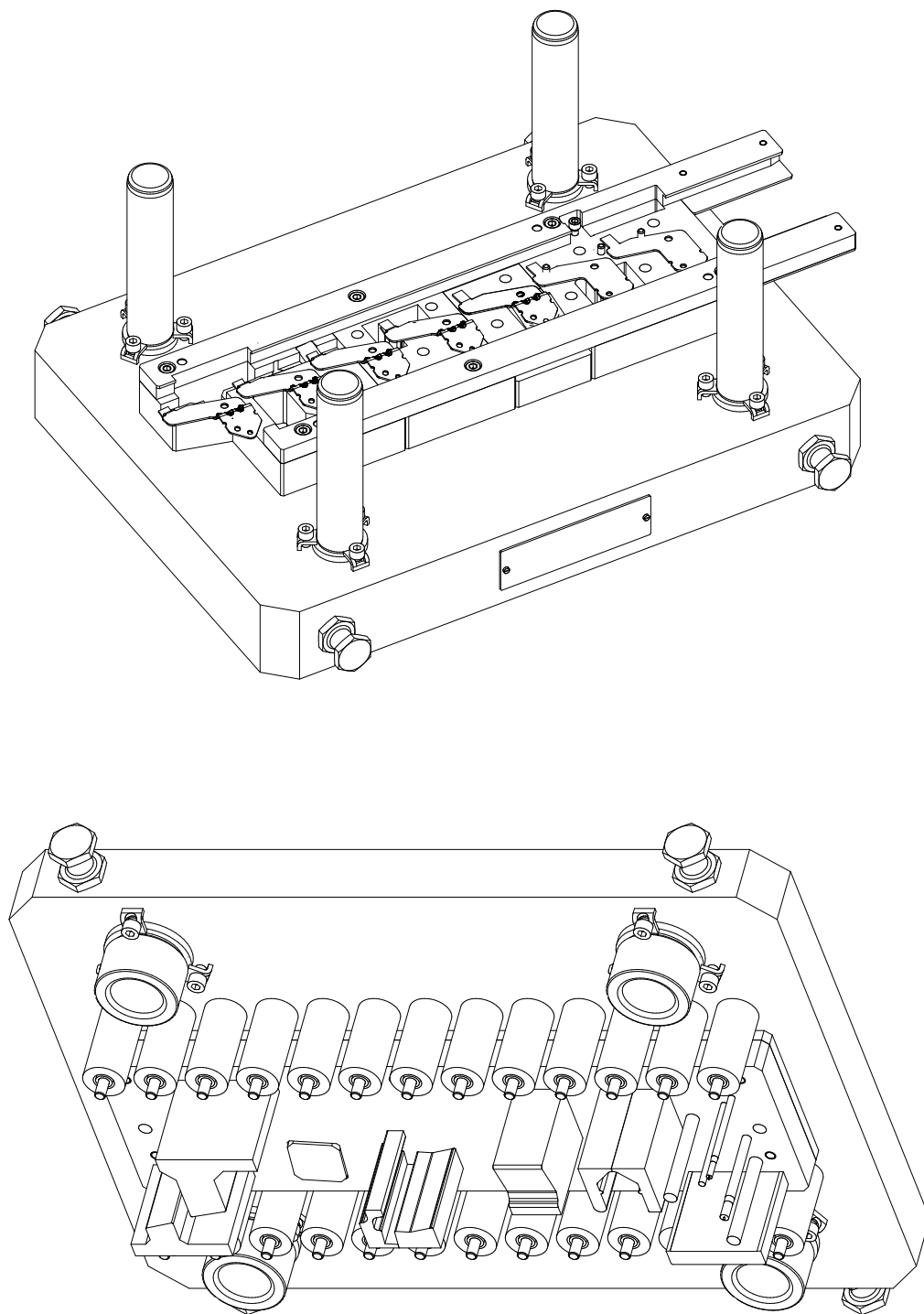
5 krok – ohyb části výlisku "konzolka"

6-7 krok – dělení pásu plechu (šrotování)

## 4.3 Návrh postupového nástroje







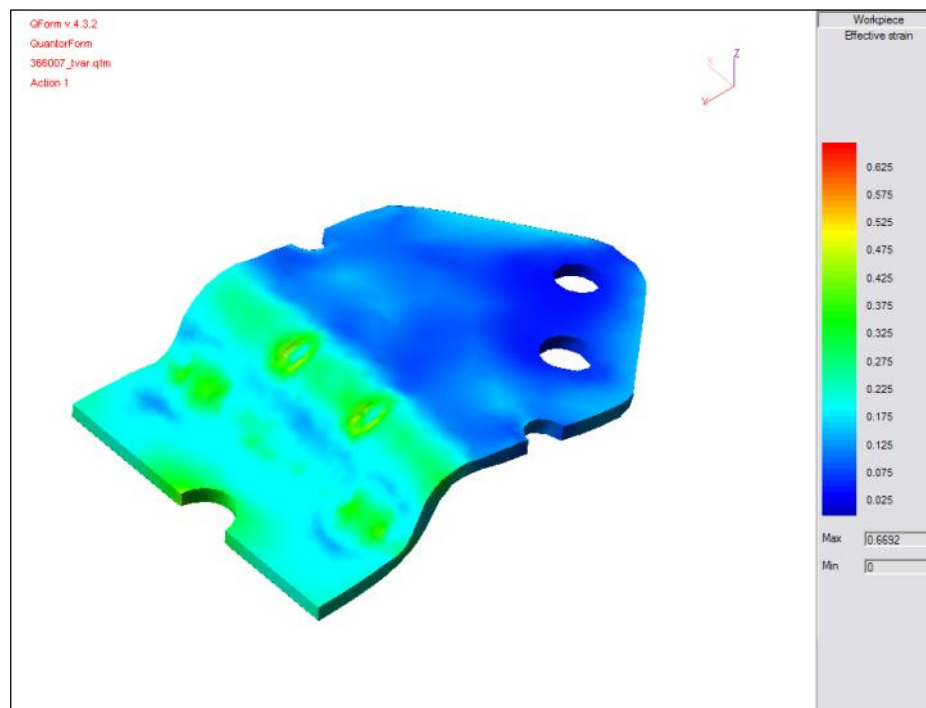
Obr. 17 - Postupový nástroj – návrh

## 5. ANALÝZA VÝROBNÍCH PARAMETR NAVRŽENÝCH VARIANT

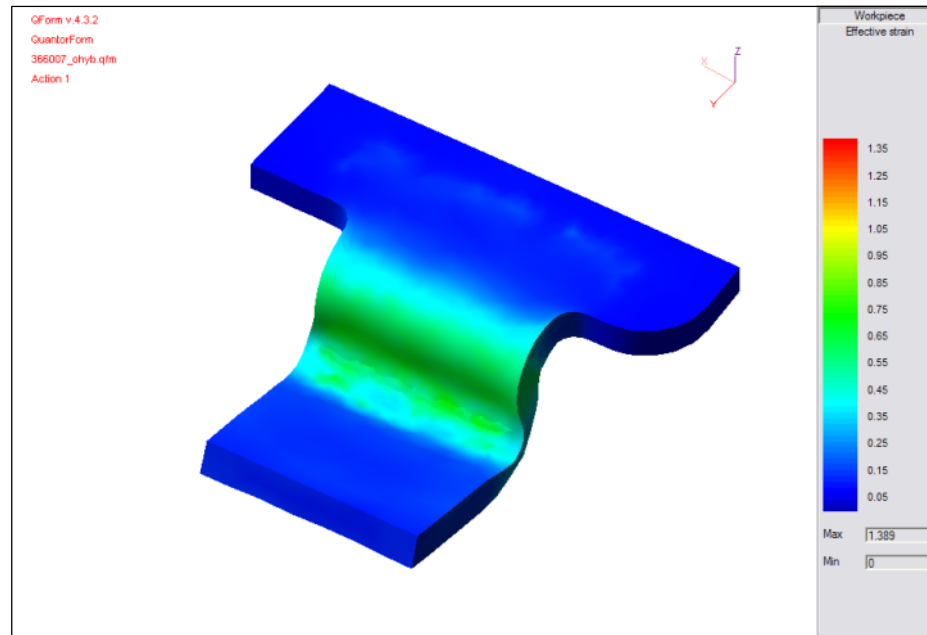
### 5.1 Efektivní deformace [1]

Síly působící na kovovou součást kov přetvářejí, nebo při dostatečné velikosti porušují. Jestliže síly působící na těleso nepřekročí určitou mez, pak po odlehčení nabude těleso původního tvaru. Jsou-li síly větší, zůstává těleso deformováno i po odlehčení. Část deformace, která po odlehčení vymizí, se nazývá deformací pružnou (elastickou). Zbytek deformace, který nevymizí, nazýváme deformací trvalou (plastickou).

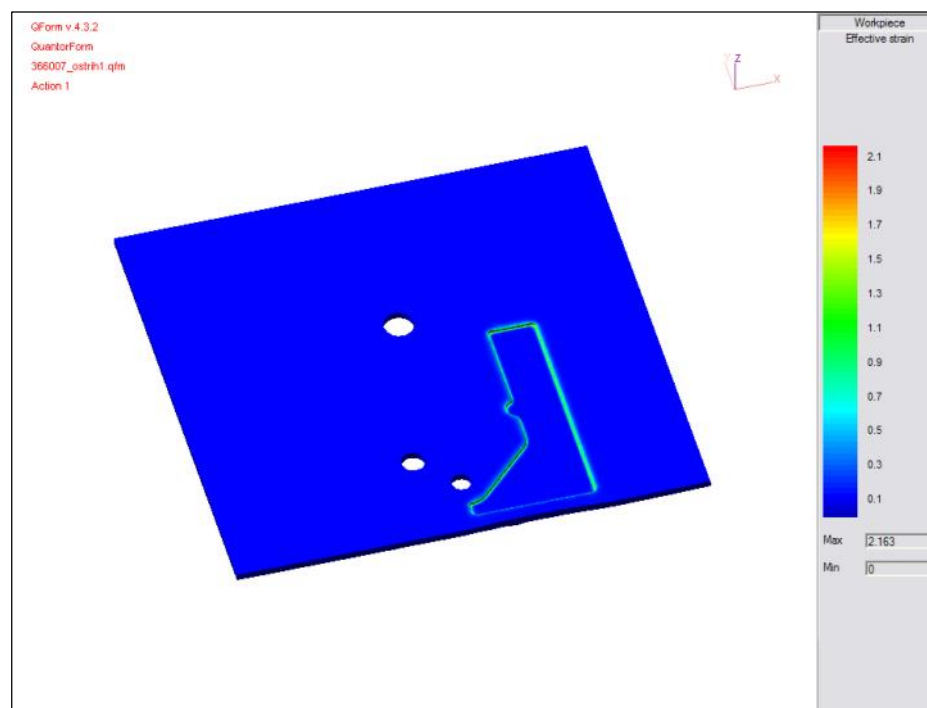
Kritická místa výlisku jsou zpravidla plochy s maximální efektivní deformací. U první varianty, tedy u ohýbacího nástroje, můžeme maximální efektivní deformaci pozorovat na ohybu "konzolky" ve druhém kroku (Obr. 19). U postupového nástroje se jedná o místa vystižení otvorů a vnějšího tvaru výlisku (Obr. 20), kdy dochází k celkovému porušení materiálu.



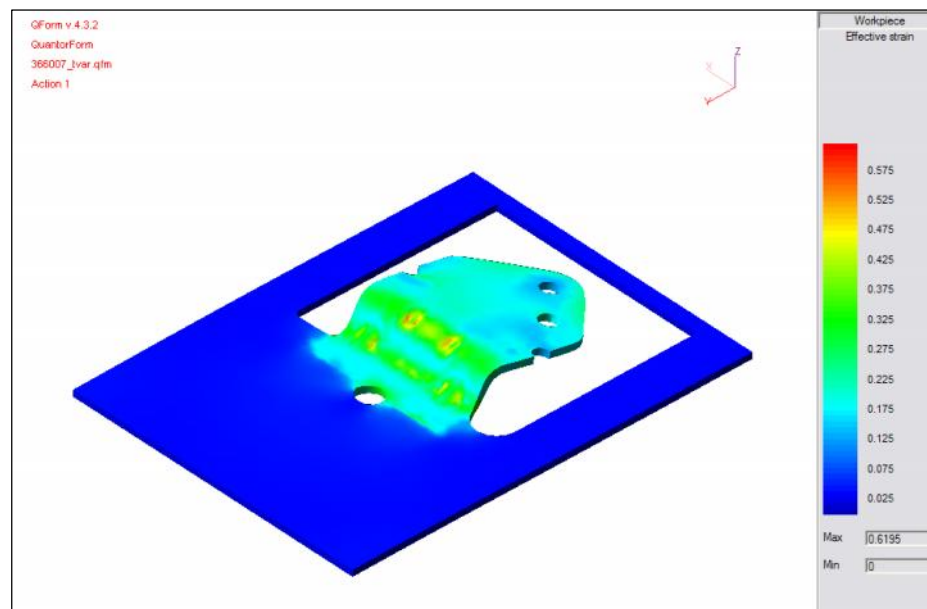
Obr. 18 - Efektivní deformace - 1. varianta (1.krok)



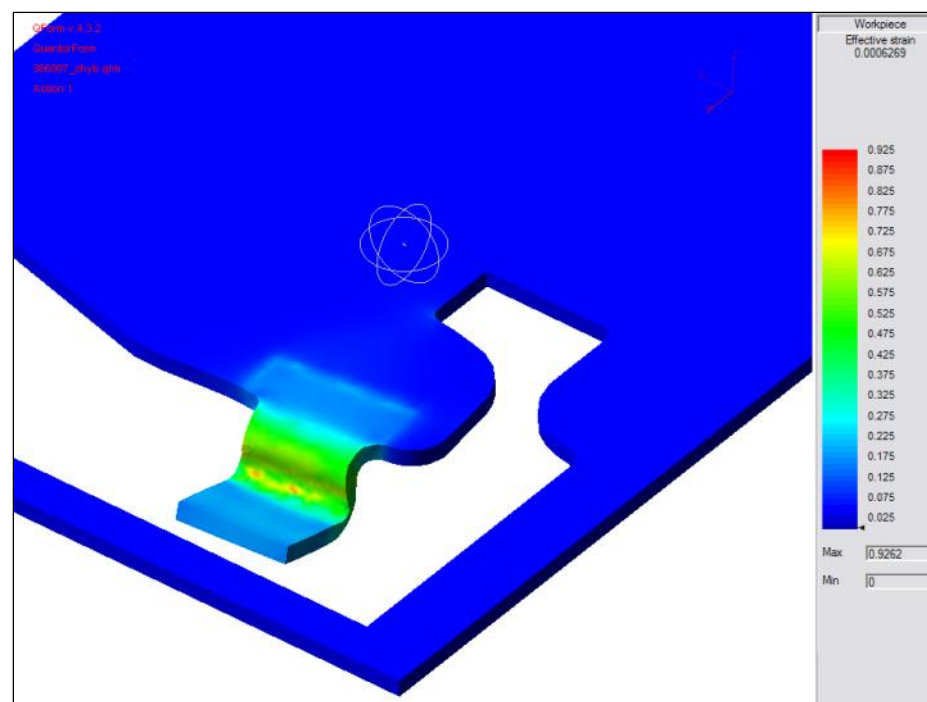
Obr. 19 - Efektivní deformace - 1. varianta (2.krok)



Obr. 20 - Efektivní deformace – 2. varianta (2.krok)



Obr. 21 – Efektivní deformace – 2. varianta (3.krok)

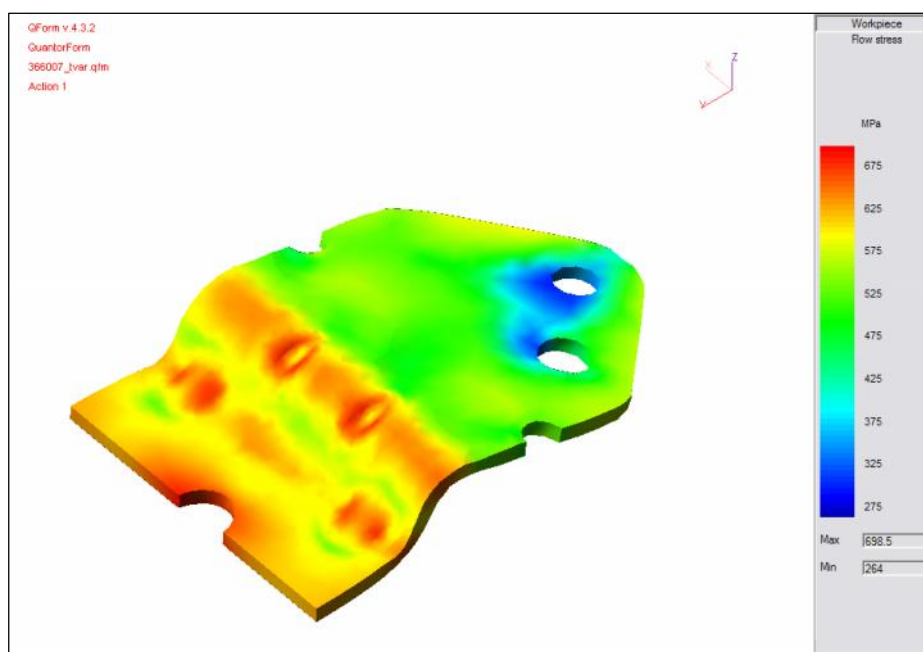


Obr. 22 - Efektivní deformace – 2. varianta (5.krok)

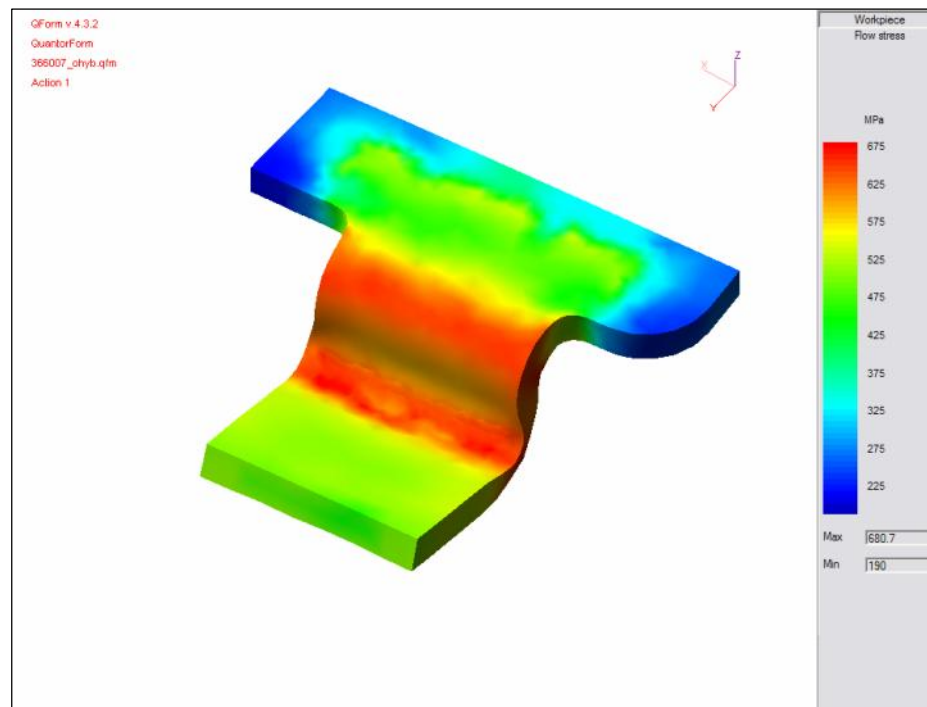
## 5.2 Zpevnění [1]

P i tvá ení kovu za studena dochází k jeho zpevnění. Jelikož je plastická deformace uskute ována pohybem dislokací, vzniká zpevnění nashromážděním dislokací a zmenšením jejich pohyblivosti. Po zpevnění dochází ke zvýšení hustoty dislokací. Zpevnění se projevuje růstem pevnosti, tvrdosti, meze kluzu a snížením tažnosti a vrubové houževnatosti.

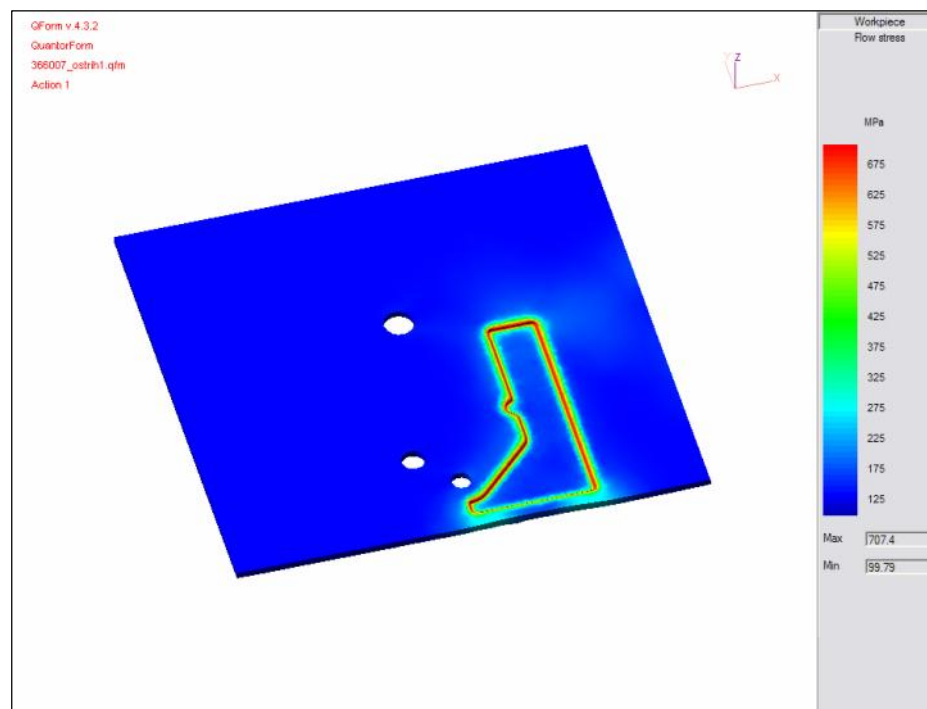
Vlivem zpevnění dosahuje materiál, plech EN 11321 se smluvní pevností  $R_m = 410 \text{ MPa}$ , v průběhu lisování v kritických místech hodnot až  $699 \text{ MPa}$  (Obr. 23) v první variantě a až  $707 \text{ MPa}$  (Obr. 25) ve druhé variantě návrhu technologie lisování. Tato místa jsou náchylná ke vzniku trhlin nebo korozi.



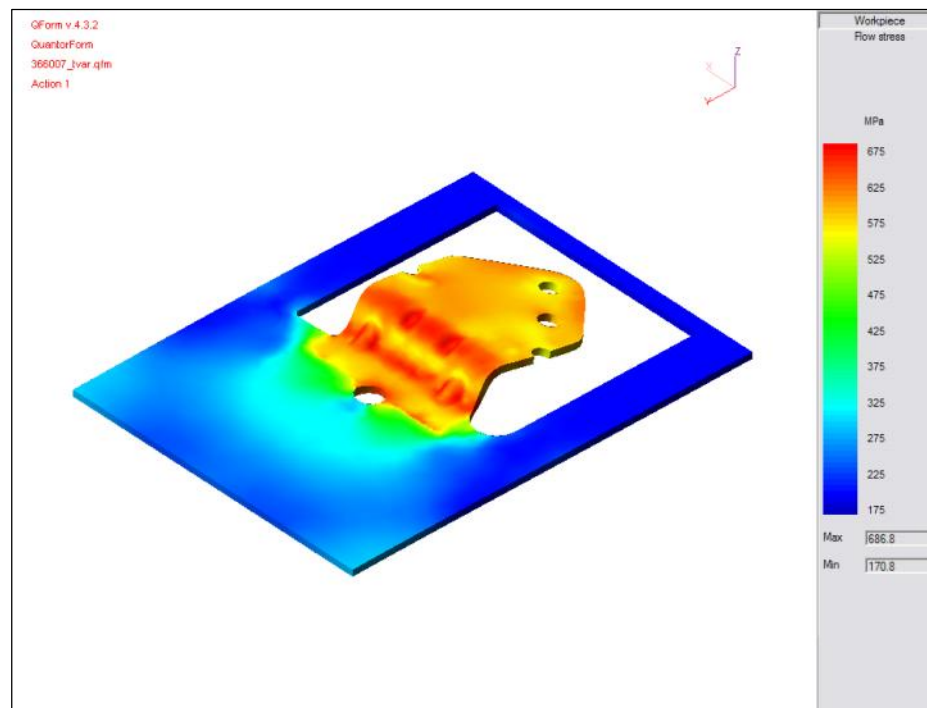
Obr. 23 - Zpevnění - 1. varianta (1.krok)



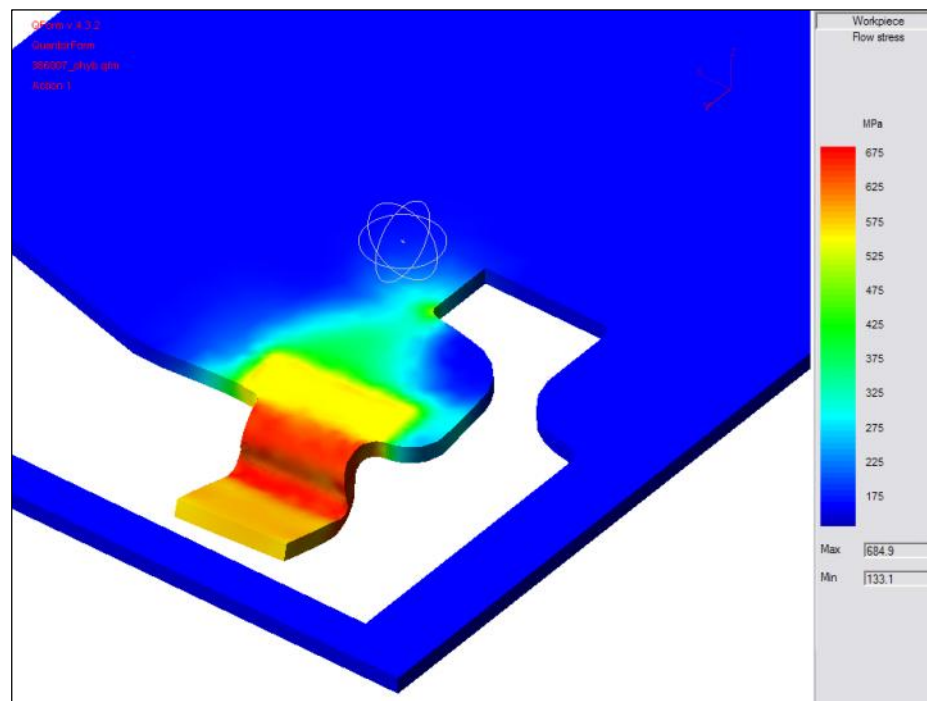
Obr. 24 - Zpevnění - 1. varianta (2.krok)



Obr. 25 - Zpevnění - 2. varianta (2.krok)



Obr. 26 – Zpevnění – 2. varianta (3.krok)

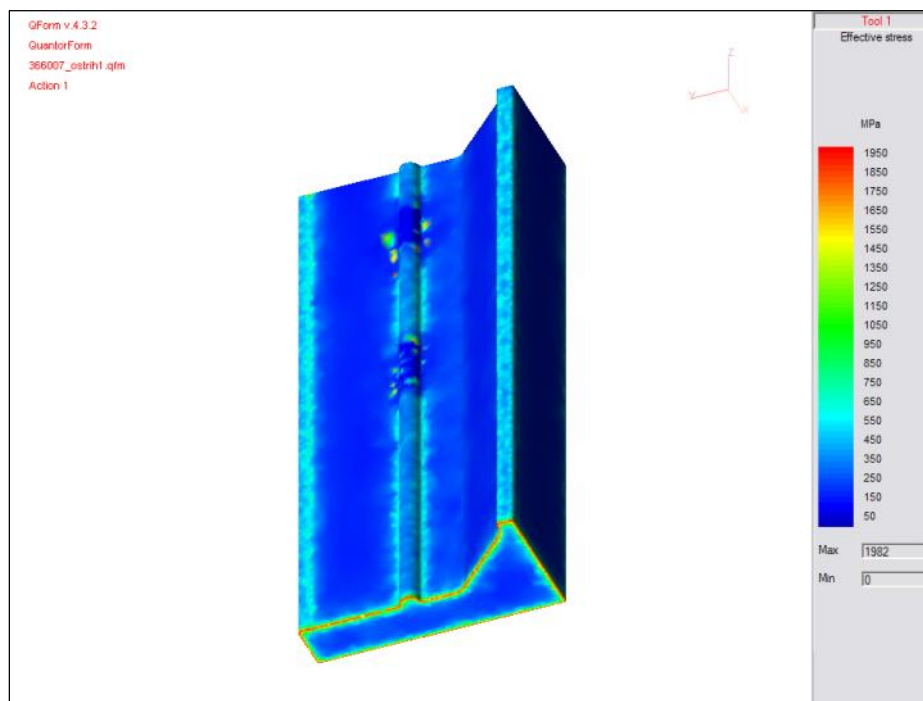


Obr. 27 – Zpevnění – 2. varianta (5.krok)

### 5.3 Napětí [1]

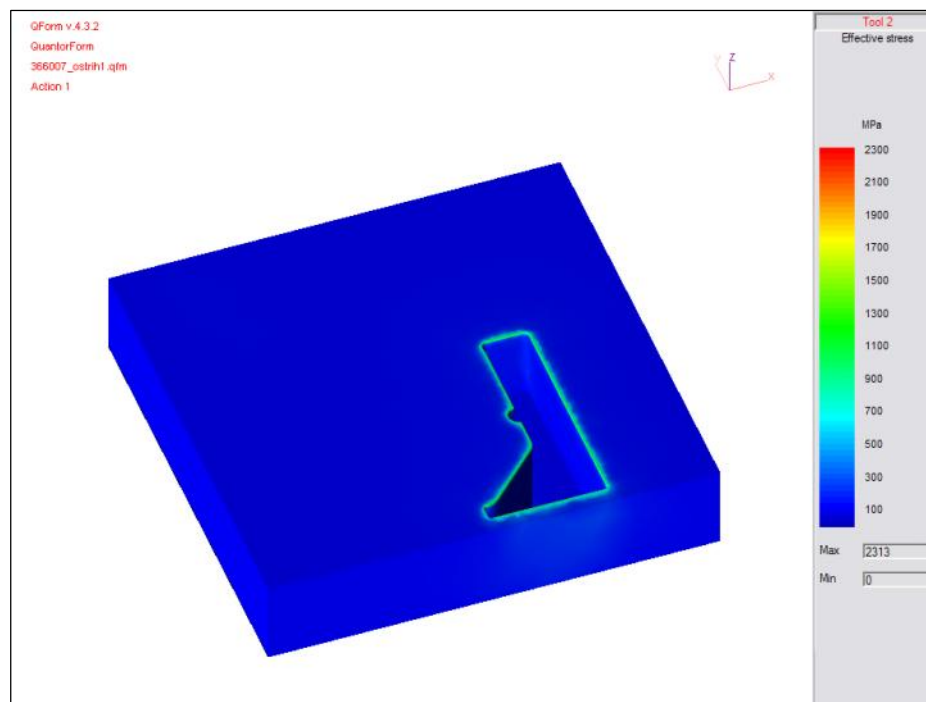
Tvar výlisku a technologie výroby se určuje především na základě zkušeností z předchozí výroby. Vzniknou-li potíže při zkoušení nového nástroje z hlediska zhotovení výlisku, změní se technologické podmínky lisování (tvar nástroje a jeho rozměr, funkce přidržovače, mazání apod.), nebo se změní materiál výlisku, v nichž případech se změní i tvar výlisku.

Maximální napětí můžeme pozorovat v místě tvarování a zároveň ohybu na ohybnici v prvním kroku ohybového nástroje a souasně ve stejných místech ve třetím kroku postupového nástroje. Zde dosahuje napětí až 2251 MPa (Obr. 31).

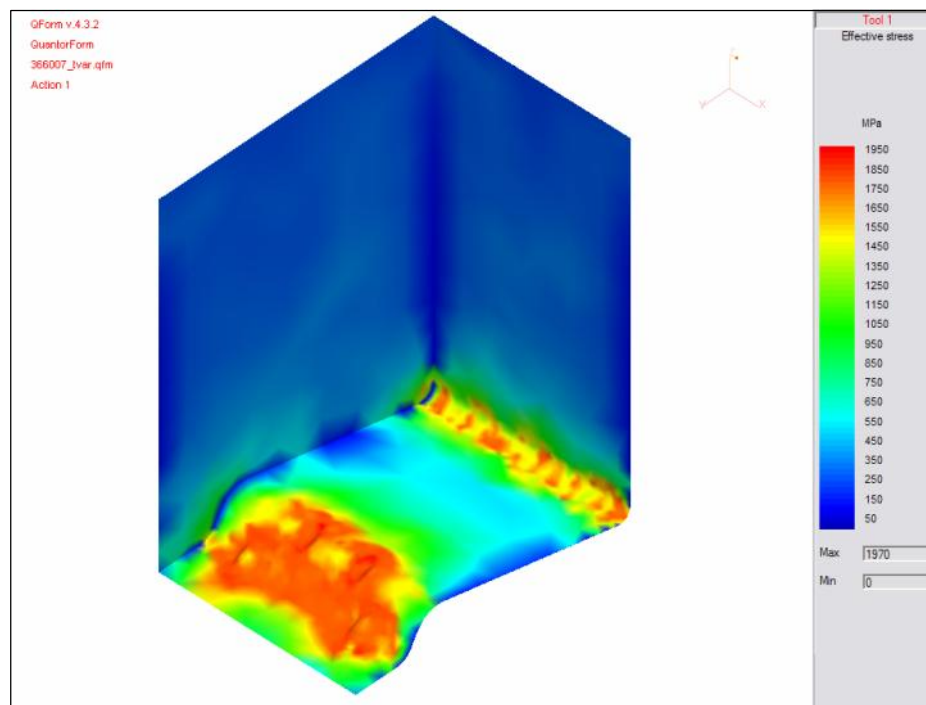


Obr. 28 – Efektivní napětí – 2. varianta (2.krok; střížník)

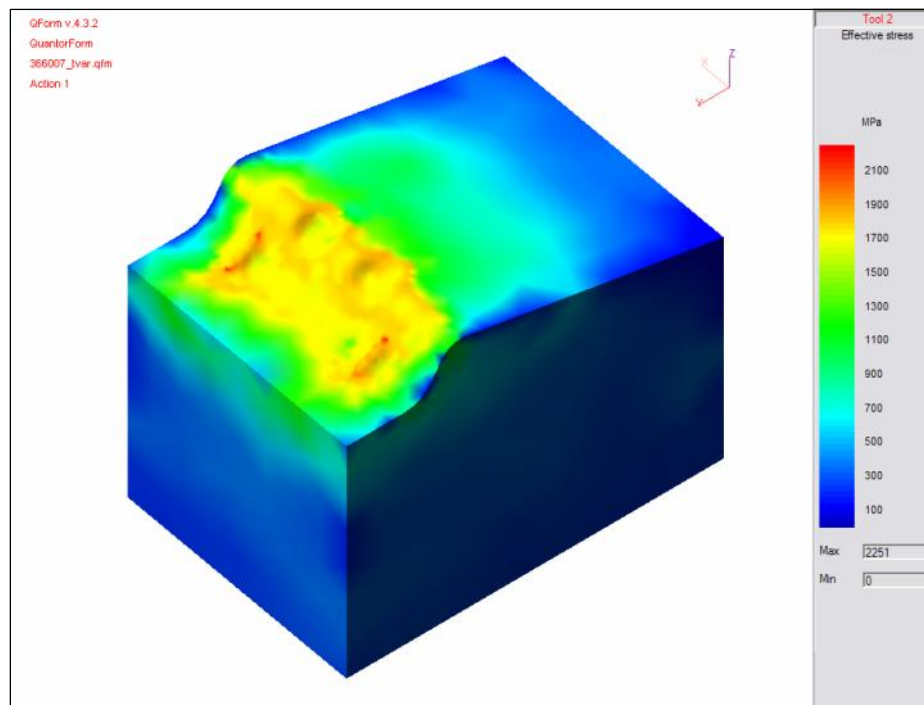




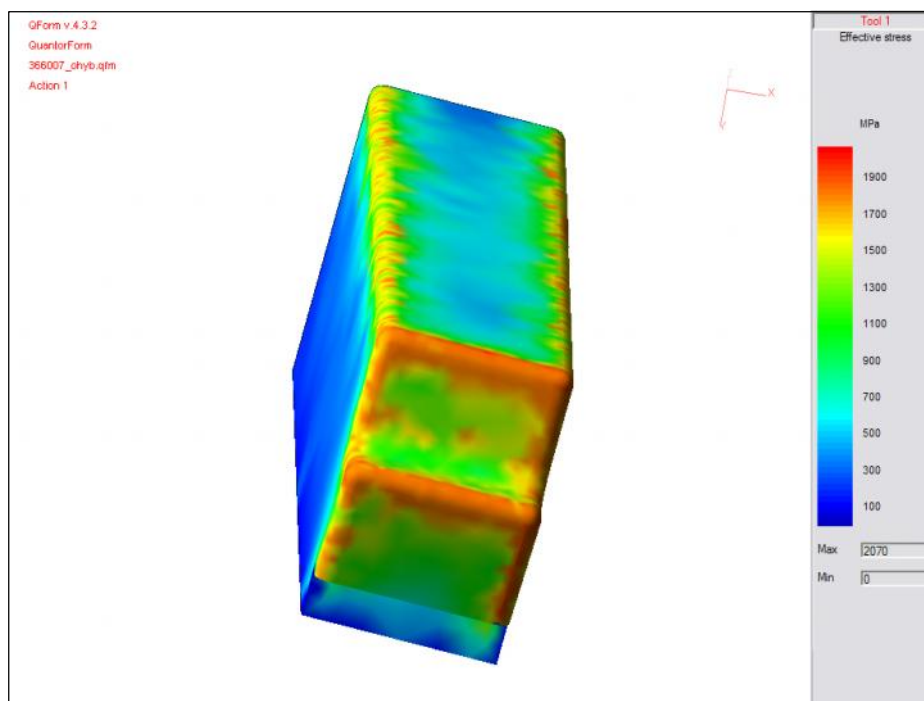
Obr. 29 - Efektivní deformace – 2. varianta (2.krok; st. ižnice)



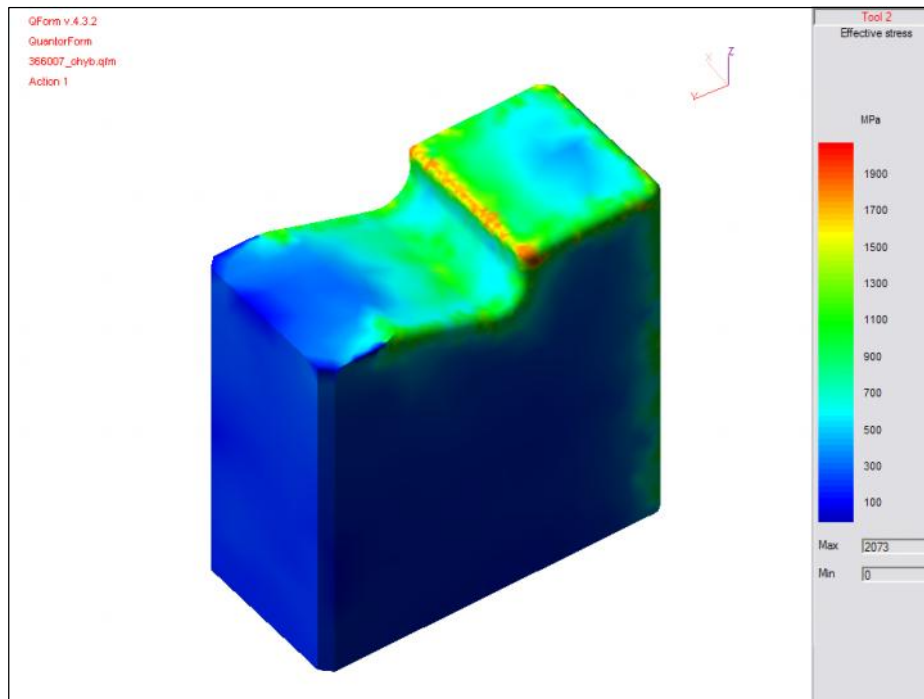
Obr. 30 – Efektivní nap. tí – 1. varianta (1.krok, ohybník) a 2. varianta (3.krok; ohybník)



Obr. 31 - Efektivní napětí - 1. varianta (1.krok, ohybnice) a 2. varianta (3.krok; ohybnice)



Obr. 32 - Efektivní napětí - 1. varianta (2.krok, ohybník) a 2. varianta (5.krok; ohybník)



Obr. 33 - Efektivní napětí - 1. varianta (2.krok, ohybnice) a 2. varianta (5.krok; ohybnice)

## 5.4 Pr b h síly

Pr b hy sil 3. a 5. kroku tvarování a ohybu postupového nástroje a obou krok ohýbacího nástroje, pro plech EN 11 321 o tlouš ce 1,6 mm jsou znázorn ny na Obr. 34, Obr. 35, pr b h sil 2. kroku postupového nástroje je znázorn n na Obr. 36. Maximální hodnoty odpovídají i normativnímu výpo tu. St ižnou sílu pro ostatní kroky postupového nástroje, jsem dopo ítal, podle vzorce pro výst ižky voln vypadávající ze st íhadla .

### Ohýbací nástroj:

Lisovací stroj LEN 25C:  $F_{L(LEN\ 25C)} = 250\text{ kN}$

Max. síla v 1 kroku:  $F_1 = 85\text{ kN}$  (Obr. 34)

Max. síla ve 2 kroku:  $F_2 = 80\text{ kN}$  (Obr. 35)

$$F_C < F_{L(LEN\ 25C)}$$

$$F_C = F_1 + F_2$$

$$F_C = 85 + 80[kN]$$

$$\underline{165kN < 250kN \Rightarrow VYHOVUJE}$$

### Postupový nástroj:

Lisovací stroj LEN 63C:  $F_{L(LEN\ 63C)} = 630\text{ kN}$

$$F_i = l \cdot t \cdot 0,77 Rm$$

Max. síla v 1 kroku:  $F_1 = 113 \cdot 1,6 \cdot (0,77 \cdot 410) \doteq 57000N = 57kN$

Max. síla ve 2 kroku:  $F_2 \doteq 90 \cdot 2 \doteq 180kN$  (Obr. 36)

Max. síla ve 3 kroku:  $F_3 \doteq 85kN$  (Obr. 34)

Max. síla ve 4 kroku:  $F_4 = 237 \cdot 1,6 \cdot (0,77 \cdot 410) \doteq 120000N = 120kN$

Max. síla ve 5 kroku:  $F_5 \doteq 80kN$  (Obr. 35)

Max. síla ve 6 kroku:  $F_6 = 96 \cdot 1,6 \cdot (0,77 \cdot 410) \doteq 49000N = 49kN$

Max. síla ve 7 kroku:  $F_7 = 72 \cdot 1,6 \cdot (0,77 \cdot 410) \doteq 37000N = 37kN$

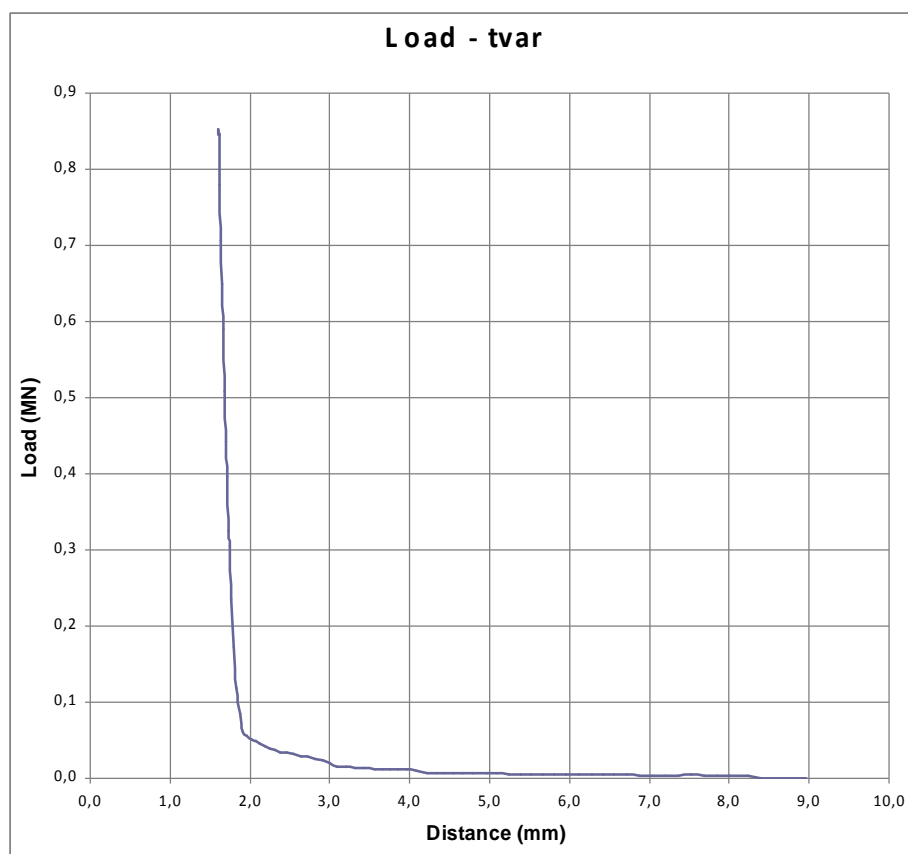
$$F_C < F_{L(LEN\ 63C)}$$

$$F_C = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5 + F_6 + F_7$$

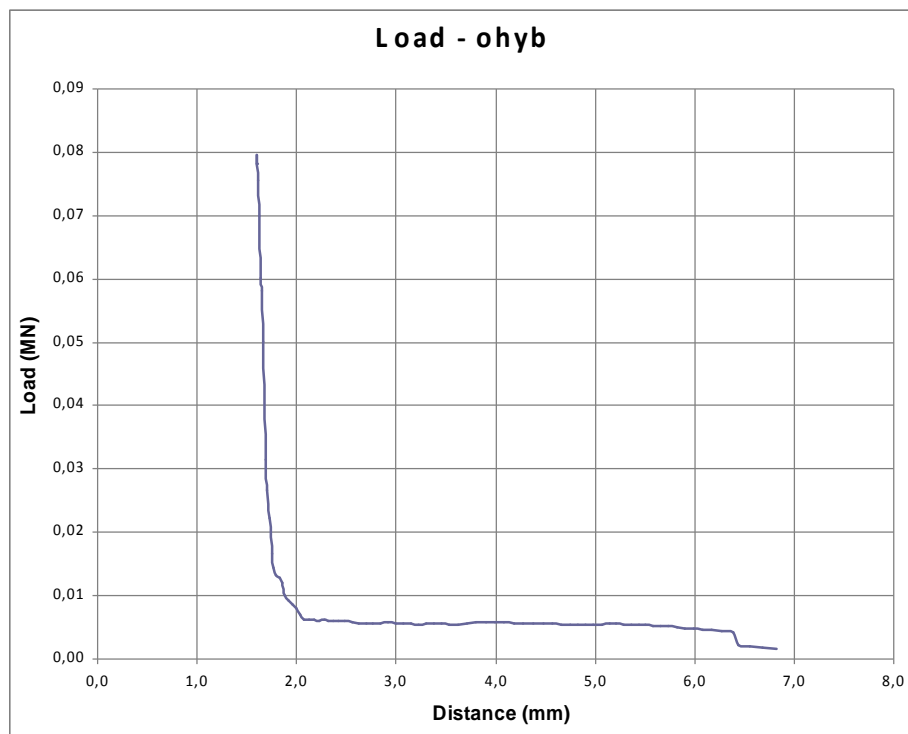
$$F_C = 57 + 180 + 85 + 120 + 80 + 49 + 37 [kN]$$

$$F_C = 608 kN$$

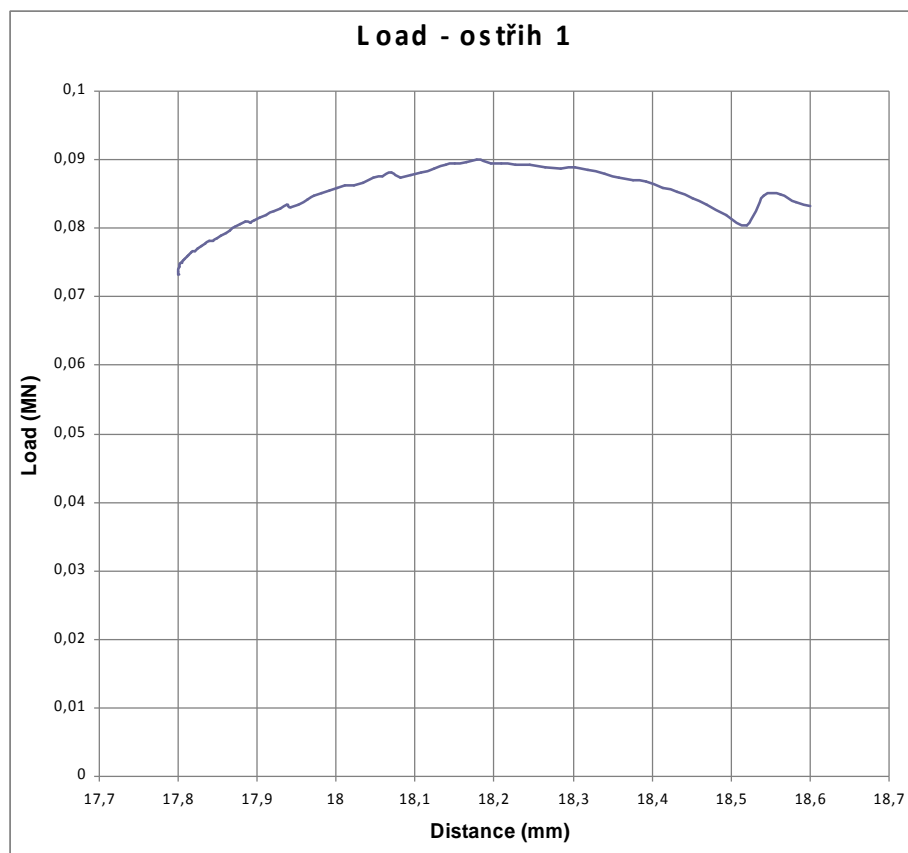
$$608 kN < 630 kN \Rightarrow \underline{VYHOVUJE}$$



Obr. 34 - Pr b h síly – 1. varianta (1.krok) a 2. varianta (3.krok)



Obr. 35 - Průběh síly – 1. varianta (2.krok) a 2. varianta (5.krok)



Obr. 36 - Průběh síly - 2. varianta (2.krok)

## 6. ZÁVĚR – TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ VARIANT

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout dvě varianty technologie výroby pro zadaný výlisek z plechu. Toto bylo provedeno v souladu se základními požadavky zadavatele s ohledem na požadavek jednoduchosti, přesnosti a hospodárnosti.

### 6.1 Technické zhodnocení variant

#### 6.1.1 1. varianta – vyřezání polotovaru laserem a ohyb v ohýbacím nástroji

První variantu navrhuji ve dvou operacích. V první operaci budou z tabulí plech o rozměrech 1500 x 3000 x 1,6 mm podle jednoho programu vyřezány laserem požadované polotovary, což znamená vyřezání vlastního tvaru polotovaru a otvorů.

Následného ohybu bude dosaženo vzhledem ke složitosti ohýbaných částí výlisku a z důvodu dodržení rozměrů ve dvou krocích v samostatném ohýbacím nástroji s manuálním zakládáním.

1. krok – ohyb + natvarování "trojúhelníkové hlavy" výlisku
2. krok – ohyb "konzolky"

#### 6.1.2 2. varianta – postupový nástroj

Jako druhou variantu navrhuji technologii výroby pomocí postupového nástroje. Dle předaného 3D-modelu součástí a podklad lisovacího stroje navrhuji postupový nástroj, do kterého bude pás plechu dopravován podáváním přes rovnáku, s max. posuvem 74 mm a šířkou pásu 100 mm

Postupový nástroj je navržen v sedmi krocích a to:

1. krok - stih 1 x Ø6,5 mm + 1 x Ø5 mm + 1 x Ø4,3 mm + 2 x Ø10 mm (hledáky)
  - Otvory Ø10 mm jsou využity v dalších krocích, jako otvory pro hledáky, kterými bude pás plechu v nástroji zajištěn.
2. krok - stih části tvaru výlisku "trojúhelníková hlava"
  - Aby nedocházelo k deformaci pásu při tvarování, je ve druhém kroku navržen stih jen části tvaru výlisku. Odpad vypadne propadovým otvorem a bude dopraven do odpadového kontejneru.

3. krok – tvarování části výlisku "trojúhelníková hlava"
4. krok – stihnutí části tvaru výlisku "konzolka"
  - Po vystižení další části tvaru výlisku propadne odpad opatřený propadovým otvorem a bude dopraven do odpadového kontejneru
5. krok – ohýbání části výlisku "konzolka"
- 6.-7. krok – dělení pásu plechu (šrotování)
  - V posledních dvou krocích bude výlisek oddělen od odpadového pásu. Výlisek bude odveden skluzem do sbírného kontejneru a odpadový pás vypadne propadovým otvorem a bude dopraven do odpadního kontejneru.

## 6.2 Zhodnocení výsledků výpočtového programu QFORM 3D

Pro analýzu efektivní deformace, zpevnění, napětí a průběhu sil jsem použila 3D-model výlisku a pomocí výpočtového programu QFORM 3D jsem provedla počítačovou simulaci.

- Maximální efektivní deformaci můžeme u první varianty, tedy u ohýbacího nástroje, pozorovat na ohybu "konzolky" ve druhém kroku. U postupového nástroje se jedná o místa vystižení otvoru a vnějšího tvaru výlisku, kdy dochází k celkovému porušení materiálu.
- Zpevnění materiálu se smluvní pevností  $R_m = 410 \text{ MPa}$ , dosahuje v průběhu lisování v kritických místech hodnot až  $699 \text{ MPa}$  v první variantě a až  $707 \text{ MPa}$  ve druhé variantě návrhu technologie lisování. Tato místa jsou náchylná ke vzniku trhlin nebo korozi.
- Maximální napětí je v místě tvarování a zároveň ohybu na ohybnici v prvním kroku ohybového nástroje a souasně ve stejných místech ve třetím kroku postupového nástroje. Zde dosahuje napětí až  $2251 \text{ MPa}$ .
- Maximální síly potřebné pro vystižení otvoru, obvodového tvaru a pro ohýbání vyhovují zadaným lisovacím strojům.

Výsledky výstup výpočtového programu QFORM 3D, který analyzoval efektivní deformace, zpevnění, napětí a průběh sil, jsem použila jako podklady pro návrh ohýbacích i postupových nástrojů, které jsou vhodné pro lisování zadaného výlisku. Na základě zpracovaných výsledků lze předpokládat vysokou spolehlivost a životnost těchto nástrojů.



### 6.3 Ekonomické zhodnocení variant

Pro ekonomické zhodnocení variant výroby technologie výlisku z plechu jsem použila jednoduchých výpočet celkových nákladů na výrobu jednoho výlisku. Tyto zahrnují náklady na výrobu lisovacích nástrojů, na materiál výlisku, za dopravu do a z kooperace laserového řezání a celkové náklady na laserové řezání a lisování (fixní, režijní).

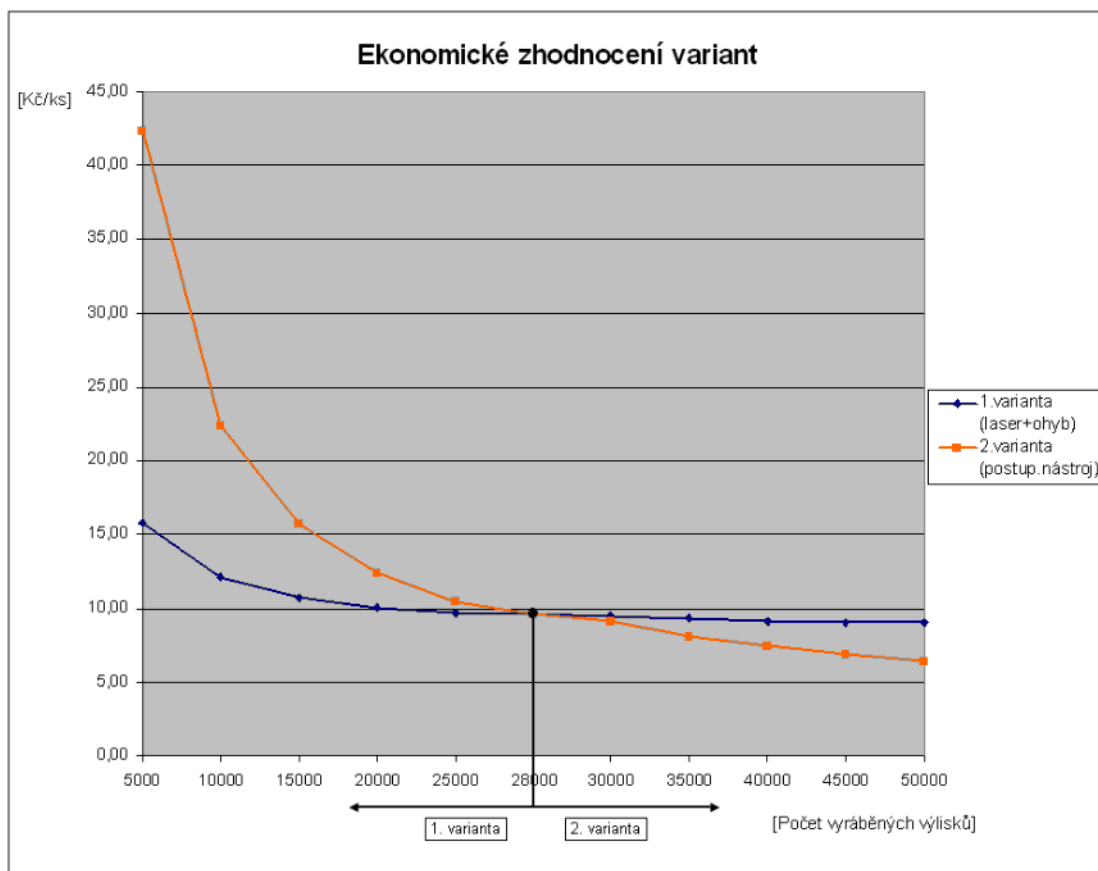
Rozhodujícím nákladovým ukazatelem je cena ohýbacího nástroje u 1. varianty a cena postupového nástroje u 2. varianty technologie lisování. Ceny nástrojů stejně jako ceny dopravy jsem rozpočítala vždy na celkový počet vyráběných výlisků.

Z porovnání obou variant celkových nákladů na jeden výlisek Tab. 2 je patrné, že hranice mezi výhodností jedné i druhé varianty je výroba v celkovém počtu 28000 kusů výlisků.

Počet vyráběných výlisků [ks]	1. varianta (laser+ohyb) [K /ks]	2. varianta (postup. nástroj) [K /ks]
5000	15,74 K	42,40 K
10000	12,12 K	22,40 K
15000	10,66 K	15,73 K
20000	10,06 K	12,40 K
25000	9,70 K	10,40 K
28000	9,54 K	9,54 K
30000	9,46 K	9,07 K
35000	9,28 K	8,11 K
40000	9,16 K	7,40 K
45000	9,06 K	6,84 K
50000	8,97 K	6,40 K

Tab. 2 – Celkové náklady rozpočítané na 1 výlisek

Z grafu Obr. 37 je patrné, že 1. navrhovaná varianta technologie lisování je ekonomicky výhodná pro výrobu maximálně 28000 ks. V případě požadavku vyššího počtu výlisků doporučuji z ekonomického hlediska použít výroby pomocí postupového nástroje, což je 2. navrhovaná varianta.



Obr. 37 – Porovnání nákladů na 1 ks výlisku

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [ 1 ] BAREŠ aj., Lisování, Praha: SNTL, 1971
- [ 2 ] BENEŠ, A. a kol., Nauka o kovech, Praha: SNTL, 1974, 356 s.
- [ 3 ] DOBROVOLNÝ, J., Nástroja ství, Praha: ROH -PRÁCE, 1952
- [ 4 ] ROMANOVSKIJ, V.P., N kolik aoopera ní postupové lisování, Praha: Pr myslové vydavatelství, 1952, 88 s.
- [ 5 ] B EZINA, R., Technologie I. – ást 1 : skriptum, Ostrava: VŠB -TU Ostrava, 1998, 80 s.
- [ 6 ] ADA, R., Technologie I. – ást tvá ení a slévání: návody do cvi ení: skriptum, Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 1998, 188 s.

## SEZNAM P ÍLOH

P íloha 1

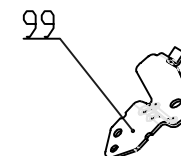
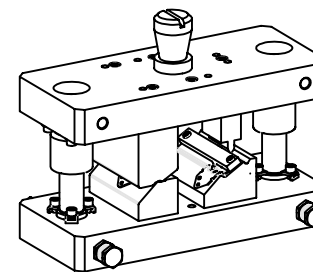
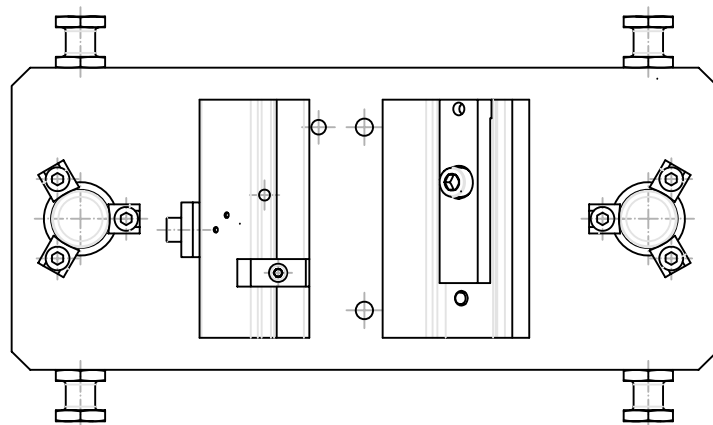
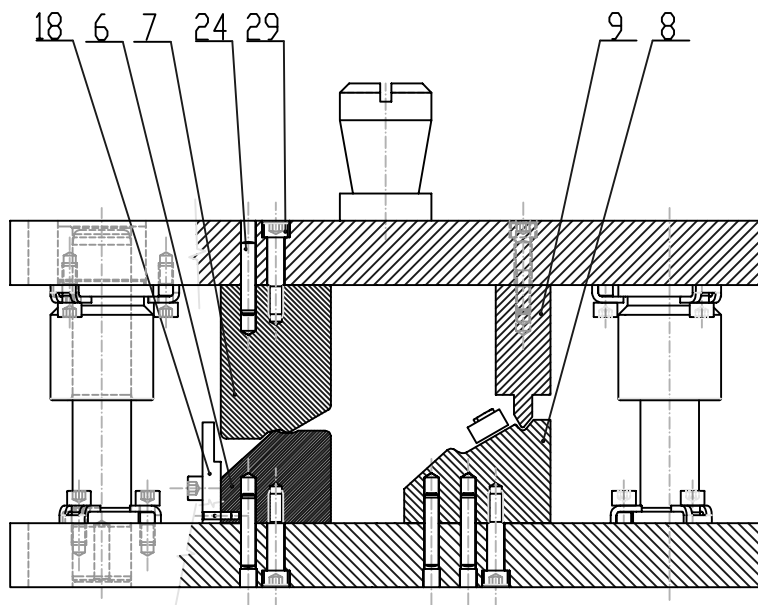
Výkres sestavy ohýbacího nástroje

P íloha 1

Výkres sestavy postupového nástroje

### **PODĚKOVÁNÍ**

Velice tímto děkuji vedoucímu diplomové práce prof. Ing. Jiřímu Hrubému, CSc. za obětavý čas a cenné informace, jenž mi byly poskytnuty během zpracování této diplomové práce. Dále tímto děkuji panu Ing. Jiřímu Skopalovi za zodpovězení dotazy a poskytnuté materiály, jakož i dalším, kteří pomohli ke konečné podobě této diplomové práce.




OZNAČTE NÁSTROJ:

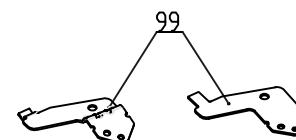
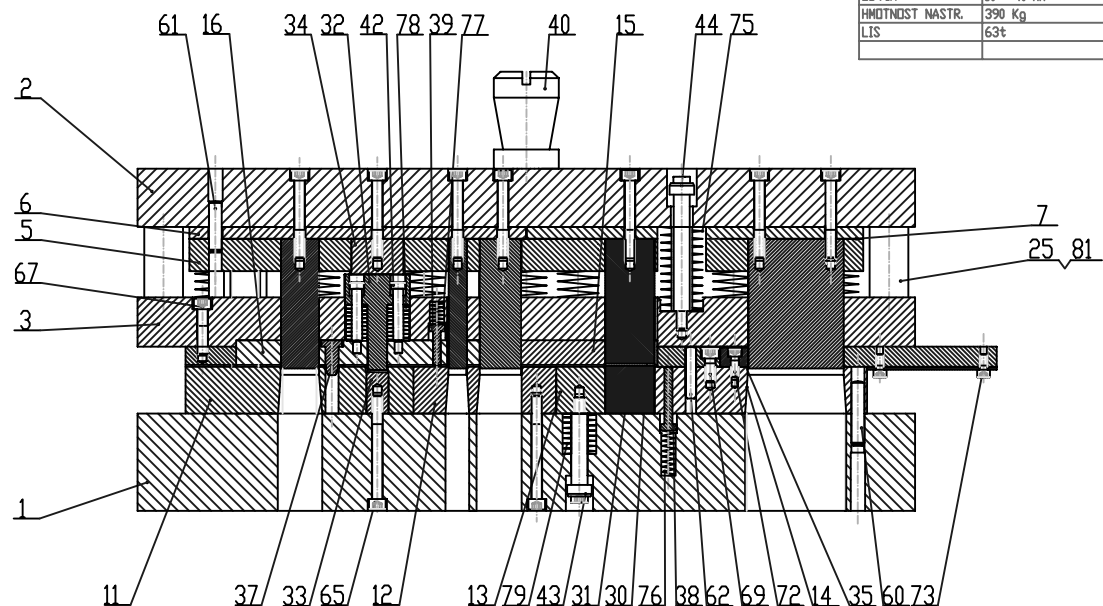
NEBEZPEČNÝ NÁSTROJ PODLE ČSN 22 6002

Č. NÁSTROJE - podle čísla výkresu

DATUM VÝROBY - MM.RRRR (měsíc, rok)

						58	0
POČET KUSŮ	NAZEV - ROZMĚR	POLOTOVAR	MATERIAL		CISTA HML	ČÍSLO VÝKRESU	POZICE
TEPEL. ZPRACOVÁNÍ				CELKOVÁ ČISTÁ HMOTNOST			
MĚRITKO	KRESLIL Deml, Peřková			NETOLEROVANÉ ROZMĚRY PODLE ISO 2768-m			
1:2	PREZKOUSEL			ZMĚNA			
	NORMREF.	INDEX					
	SCHVALIL Skopal					3D CAD	
	DNE 14. 7. 2008	NOVÝ VÝKRES					
SKONAS CZ						TYP	
NAZEV							
Tel +420 775 072015		Dřhyb. nástroj					
www.skonas.cz		343002					
F		G		I		U	
		Listu				List	

SIRKA PASU	100
KROK	74
TLUSTSKA PLECHU	1,6 mm
JAKOST PLECHU	11 321
STRIZNA SILA	600 kN (60 t)
STRIZNA VULE	0,07 mm ( 0,14 celk)
ROZMER NASTROJE	264x440x600
SEVRENA VYSKA	264mm
ZDVIH	30 - 40 mm
HMDTNOST NASTR.	390 Kg
LIS	63t



OZNAČTE NÁSTROJ:  
NEBEZPEČNÝ NÁSTROJ PODLE ČSN 22 6002  
Č. NÁSTROJE - podle čísla výkresu  
DATUM VÝROBY - MM.RRRR (měsíc, rok)

[illegible]

